DIE NATURWISSENSCHAFTEN

30. Jahrgang | 23. Oktober 1942 | Heft 43

Dan La Cour †.

Von J. BARTELS, Potsdam.

Dr. DAN LA COUR, Direktor des Dänischen Meteorologischen Instituts und Präsident der Internationalen Vereinigung für Geodäsie und Geophysik, ist am 19. Mai 1942 gestorben. Sein Tod bedeutet für die Geophysik einen doppelten Verlust: Der Erdmagnetismus ist um einen ausgezeichneten Forscher ärmer geworden, und die internationale Zusammenarbeit, die auf dem Gebiete der Geophysik notwendiger ist als in den meisten anderen Zweigen der Naturwissenschaft, verliert in ihm einen verdienten Organisator.

Am 12. September 1876 in Kopenhagen geboren, studierte er dort Physik, wandte sich aber, wie so viele nordische Physiker, frühzeitig der Geophysik zu. Er nahm 1899—1900 unter ADAM PAULSEN an einer Nordlicht-Expedition nach Island teil und leitete selbst im nächsten Jahr eine ähnliche Expedition nach dem nördlichen Skandinavien. 1900 trat er beim Meteorologischen Institut in Kopenhagen ein, wurde 1903 Leiter der Wetterdienstabteilung und 1923 Direktor des Instituts. Seit 1908 hatte er daneben einen Lehrstuhl für Meteorologie an der Technischen Hochschule inne.

Aus der wissenschaftlichen Tätigkeit LA COURS sind seine Verdienste um die erdmagnetische Meßtechnik am besten bekanntgeworden. Schon GAUSS und LAMONT haben die Präzision der erdmagnetischen Messungen auf ein Hunderttausendstel der ganzen Feldkraft gesteigert, und heute sind wir noch eine Dezimale weitergekommen. Diese Genauigkeit ist notwendig, um die zeitlichen Schwankungen des Feldes zu erfassen (Säkularvariation und die vielfältigen Einflüsse der Sonne und des Mondes auf dem Umwege über elektrische Ströme in der Ionosphäre) und um die räumliche Verteilung festzustellen (magnetische Karten, auch im Hinblick auf geologische Deutung). Den reinen Physiker muten die Meßprinzipien altmodisch an, denn im allgemeinen hat sich an den Grundgedanken seit 100 Jahren nicht viel geändert; aber in den heutigen Instrumenten steckt viel Erfahrung und Theorie, und sie leisten alles, was im Observatorium und bei Feldmessungen zu verlangen ist.

LA COUR errichtete 1925 das Magnetische Observatorium in Godhavn (Grönland). Unter arktischen Verhältnissen arbeiteten die damaligen Instrumente nicht zuverlässig, namentlich für die magnetische Vertikalintensität Z mußten neue Instrumente entwickelt werden. LA COUR konstruierte ein H-Z-Intensiometer für absolute Messungen, wobei in neuartiger Weise die Induktionswirkung in umlegbaren Spulen ausgenutzt wird, und schuf in der „Godhavn-Waage" ein Registrierinstrument für die Vertikalintensität, das manche Nachteile älterer Geräte vermeidet. Diese Waage sei als typisches Beispiel für LA COURS Instrumente näher beschrieben: Bekanntlich stellt sich ein Stabmagnet, den man mittels einer horizontalen Schneide so unterstützt, daß die Drehachse durch den Schwerpunkt des Magnets geht und der Magnet im magnetischen Meridian schwingen kann, in die Richtung der erdmagnetischen Kraftlinien ein, unter dem Winkel der Inklination, bei uns mit dem Nordpol schräg nach unten. Wenn man die Drehachse um einen rechten Winkel dreht, so daß sie im Meridian steht, so wirkt nur die Vertikalkomponente des Feldes, und der Magnet stellt sich senkrecht. Daraus leitet man (nach LLOYD) eine Z-Waage ab, indem man die Schneide so weit vom Schwerpunkt des Magnets nach seinem Nordpol verschiebt, daß der Magnet waagerecht steht; wenn sich nun Z ändert, so wird dies von der Waage durch eine Kippung angezeigt. Die Schwierigkeit liegt dabei im Genauigkeitsanspruch: Der horizontale Abstand zwischen Schwerpunkt und Drehachse beträgt nämlich nur etwa 0,04 cm; dieser kleine Hebelarm genügt, damit sich die Drehmomente der Schwerkraft und der erdmagnetischen Vertikalkomponente Z (rund 0,4 Gauß bei uns) das Gleichgewicht halten. Änderungen von Z um ein Hunderttausendstel seines Betrages sollen noch beobachtet werden; dazu ist notwendig, daß der Abstand Schwerpunkt-Schneide bis auf denselben Bruchteil konstant bleibt, also auf $^1/_{100}$ Lichtwellenlänge. Geringfügige gegenseitige Verschiebung der Einzelteile des Waagesystems — das aus Lamellenmagneten, Schneide, Empfindlichkeits-Schrauben und Spiegel besteht — können nun, beim Ausgleich von Spannungen, zu minimalen Verlagerungen des Schwerpunktes relativ zur Schneide führen, die dann als „Basis-Sprünge" Änderungen von Z vortäuschen. Diese lästige Unvollkommenheit der Z-Waagen hat LA COUR dadurch vermieden, daß er das System Magnet—Schneide—Spiegel aus einem Stück anfertigen läßt. Besondere Kennzeichen der Godhavn-Waage sind der luftdichte Abschluß des Magnetsystems und eine optische Temperatur-Kompensation. Ähnliche Fortschritte, die von LA COUR in zäher Kleinarbeit erdacht und von einem verständnisvollen Feinmechaniker ausgeführt wurden, charakterisieren auch seine übrigen Instrumente.

Einen großen Fortschritt bedeutete LA COURS QHM (Quarz-H-Magnetometer) zur genauen Relativmessung der erdmagnetischen Horizontal-

intensität H. Aus VENSKES Arbeiten war schon bekannt, daß die Direktionskraft von Quarzfäden für Meßzwecke sehr geeignet ist; ein horizontaler Magnet, der an einem Quarzfaden aufgehängt ist und durch Drehung des oberen Fadenendes aus dem magnetischen Meridian abgelenkt wird, gestattet durch Beobachtung des Ablenkungswinkels eine genaue Messung von H. Nur die unvollkommene Art der Befestigung des oberen Endes ließ früher die zuverlässigen elastischen Eigenschaften der Quarzfäden nicht voll zur Geltung kommen; indem man nämlich den Faden oben einklemmte, entstand dort eine schwache Stelle. LA COUR hängte den Quarzfaden einfach an einer tropfenförmigen Verdickung in einen Schlitz. Solche „Columbus-Eier" sind für alle instrumentellen Arbeiten LA COURS typisch; mit einfachsten Mitteln wurde höchste Präzision erreicht.

Über sein Fachgebiet hinaus ist LA COUR durch seine Organisationsarbeit bekanntgeworden. Als Präsident der Kommission für das Internationale Polarjahr 1932/33 hat er durch seinen persönlichen Einsatz dieser Unternehmung zur erfolgreichen Durchführung verholfen. Begeisterung, Arbeitskraft, Zähigkeit, Verhandlungskunst und Blick für das Wesentliche ließen ihn alle Schwierigkeiten überwinden. Für die Verwertung der Beobachtungen hinterließ er in dem Kopenhagener Archiv ein kostbares Vermächtnis: in Leica-Reproduktionen sind hier die Registrierungen und Bearbeitungen als Tabellen oder Kurven aus aller Welt gesammelt und haben schon Material für manche wertvolle Arbeit geliefert. Diese vorbildliche Leistung LA COURS wurde 1936 durch seine Wahl zum Präsidenten der Internationalen Vereinigung für Geodäsie und Geophysik von allen Fachgenossen anerkannt. Auch in dieser Stellung hat er viel geleistet. Seine Verhandlungsführung vor und während der Tagung in Washington im September 1939, in einer Zeit höchster weltpolitischer Spannungen, ließ seine hervorragenden Eigenschaften noch einmal ins hellste Licht treten. Voller Pläne für weitere Arbeit ist er von uns gegangen; sein Andenken wird bei allen Geophysikern weiterleben.

Die neuere Entwicklung der Vakuumspektroskopie[1]).

Von HANS BOMKE, Berlin-Charlottenburg.

Anläßlich der 100. Wiederkehr des Geburtstages von VIKTOR SCHUMANN ist von dem Verfasser kürzlich in dieser Zeitschrift[2]) eine ausführliche Darstellung der Frühgeschichte der Spektroskopie im kurzwelligen Ultraviolett und insbesondere des Lebenswerkes von VIKTOR SCHUMANN gegeben worden, durch dessen bahnbrechende Forschungsarbeiten die vakuumspektroskopische Forschung begründet worden war. Die weitere, über die eigentlichen Arbeiten SCHUMANNS hinausgehende Entwicklung dieses bedeutenden Forschungszweiges der Spektroskopie konnte in jener Darstellung nur kurz gestreift werden. So mag es gerechtfertigt erscheinen, jetzt in Fortsetzung jenes Artikels über die weitere Entwicklung der Vakuumspektroskopie und insbesondere über verschiedene in den letzten Jahren auf diesem erstmalig durch die Arbeiten von VIKTOR SCHUMANN der Forschung erschlossenen Gebiete erzielte Ergebnisse zu berichten.

Die in den Jahren von 1893 bis etwa 1900 von VIKTOR SCHUMANN ausgeführten Untersuchungen hatten nicht nur die Gründe für das bekannte Abschneiden des in der Luft aufnehmbaren ultravioletten Spektrums bei einer Wellenlänge von etwa 1850 Å ergeben, sondern auch bereits die auch heute noch zur Anwendung kommenden Maßnahmen für die Untersuchung des kurzwelligeren Spektralgebietes gewiesen. SCHUMANN hatte gefunden,

1. daß Strahlungen von kürzerer Wellenlänge als etwa 1850 Å von der Gelatine in photographischen Platten so stark absorbiert werden, daß die Strahlen nicht mehr bis zu den in der Gelatine emulgierten lichtempfindlichen Bromsilberkörnern durchdringen;

2. daß Quarz für Strahlen unterhalb von 1850 Å praktisch undurchlässig wird;

3. daß auch die atmosphärische Luft selbst diese Strahlung schon nach einer Wegstrecke von nur 0,1 mm vollkommen absorbiert hat.

Wie bekannt ist, hatte VIKTOR SCHUMANN an Stelle der normalen Photoplatte eine besonders gelatinearme, später nach ihm benannte Photoplatte entwickelt, ferner die Quarzlinsen und Prismen des Spektrographen durch solche aus dem bei 1850 Å noch gut durchlässigen Flußspat ersetzt und schließlich die gesamte Apparatur, Lichtquelle, Spektrograph und Photoplatte, in ein evakuiertes Gehäuse gesetzt und konnte mit diesem ersten aller Vakuumspektrographen bereits bis zu einer kürzesten Wellenlänge von 1215 Å vordringen. Für noch kurzwelligere Strahlungen ist auch der Flußspat (CaF_2) vollkommen undurchlässig. Zu SCHUMANNS Zeit und auch viele Jahre später noch war kein für die Herstellung optischer Linsen und Prismen geeignetes Material bekannt, welches bei noch kürzeren Wellenlängen als Flußspat durchsichtig ist. Seit einigen Jahren ist es nun gelungen, aus Lithiumfluorid (LiF), einer Substanz, die infolge ihrer starken Wasserlöslichkeit in der Natur als Kristall nicht vorkommt, in geeigneten elektrischen Öfen große und optisch klare Einkristalle synthetisch herzustellen, die bis zu einer Wellenlänge von 1100 Å herab noch durchlässig sind. Es sind daher in den

[1]) Nach einem am 17. Dezember 1941 im Kolloquium des Physikalischen Instituts der Universität Leipzig anläßlich der 100. Wiederkehr des Geburtstages von VIKTOR SCHUMANN gehaltenen Vortrag.

[2]) H. BOMKE, Viktor Schumann. Zum 100. Geburtstag des Begründers der Vakuumspektroskopie. Naturwiss. **29**, 729—734 (1941).

letzten Jahren verschiedentlich Vakuumspektrographen mit Linsen und Prismen aus Lithiumfluorid gebaut worden und mit Vorteil zur Untersuchung des an die kurzwellige Grenze des eigentlichen Schumanngebietes anschließenden Wellenlängenbereiches verwendet worden. Derartige Apparate, die im Bau und in der Gestehung wesentlich einfacher sind als Gitterspektrographen, können auch heute bei allen Untersuchungen, wo es weniger auf große Dispersion als vielmehr auf große Lichtintensität ankommt, beispielsweise bei zahlreichen Absorptionsuntersuchungen, noch sehr vorteilhaft sein.

Für das große Gebiet der unterhalb von 1100 Å liegenden Strahlungen dagegen gibt es auch heute keine in genügender Schichtdicke durchlässige Substanz, so daß hier nach dem Vorgang von TH. LYMAN (1905) an Stelle eines Prismenspektrographen ein auf einen Konkavspiegel aufgeritztes Beugungsgitter verwendet werden muß. Der Gittervakuumspektrograph, bei dem jegliches absorbierende Medium zwischen Lichtquelle und photographischer Platte vermieden ist, hat vor dem Prismenvakuumspektrographen noch den weiteren Vorteil, daß er eine exakte Messung der untersuchten Wellenlängen gestattet, während hierzu beim Prismenspektrographen erst die Dispersionskurve der Prismensubstanz bekannt sein muß. Bei den LYMANschen Vakuumspektrographen traf die einfallende Strahlung nahezu senkrecht auf das Gitter. Dadurch ergibt sich, wie im weiteren noch näher ausgeführt werden soll, eine Begrenzung des aufnehmbaren Spektralbereiches nach kurzen Wellenlängen, die je nach den Eigenschaften des verwendeten Gitters etwas verschieden ist und bei etwa 500 Å liegt. LYMAN selbst erreichte mit seinem Apparat eine kürzeste Wellenlänge von 500 Å (1916). MILLIKAN und seine Mitarbeiter verwendeten besondere sog. „leicht geritzte" Gitter und erreichten so, ebenfalls nach der Methode des senkrechten Lichteinfalls, eine kürzeste Wellenlänge von 140 Å (1918). Wesentlich für diesen damals sehr bemerkenswerten Fortschritt war neben der Verwendung der leicht geritzten Gitter auch noch die Einführung einer neuartigen Lichtquelle, des Hochvakuumfunkens oder hot spark, der für die Anregung der in dem äußerst kurzwelligen Gebiet liegenden Spektren der hochionisierten Atome besonders geeignet ist. Schließlich gelang es dann in den letzten 14 Jahren, mit Hilfe des Gitterspektrographen mit streifendem Einfall, eines Apparates, der seit 1928 insbesondere von M. SIEGBAHN und seinen Mitarbeitern in Upp-

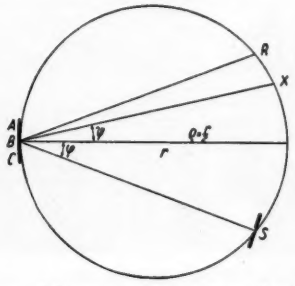

Fig. 1. Schema der allgemeinen Konkavgitteraufstellung.

sala zu größter Vollkommenheit ausgebildet worden ist, die auch nach den MILLIKANschen Untersuchungen noch zwischen dem extrem kurzwelligen optischen und dem langwelligen Röntgenspektrum vorhandene Lücke vollkommen zu überbrücken. Zur schnellen Übersicht sind in der nebenstehenden Tabelle 1 die genannten Angaben nochmals kurz zusammengefaßt.

Tabelle 1.

Gebiet	Wellenlänge	Eigenschaften	Spektograph
Normales Ultraviolett	3300 Å	Glasabsorption	Quarzspektrograph oder gewöhnl. Gitter-
Schumann-ultraviolett	1850 Å	Quarz und Luftabsorption, Grenze der Verwendung gewöhnlicher Photoplatten	Vakuumspektrograph mit Flußspatprisma oder Konkavgitter
Lymangebiet	1250 Å	Flußspatabsorption	
	1100 Å	LiF-Absorption	
Extremes Vakuum-ultraviolett	500 Å	Anwendungsgrenze f. gewöhnliche Gitter bei senkrechtem Einfall	Gitter mit senkrechtem oder streifendem Einfall
	140 Å	Grenze für leicht geritzte Gitter bei senkrechtem Einfall	Gitter mit streifendem Einfall
Ultraweiche Röntgenstrahlen	ca. 20 Å	Überschneidung von optischen und Röntgenspektren	Übergang zu Röntgenmethoden (Kristallbeugung, Plangitter)

Aus dem Gesagten geht deutlich hervor, daß für die moderne Vakuumspektroskopie das Konkavgitter mit senkrechtem sowohl wie mit streifendem Lichteinfall von ausschlaggebender Bedeutung geworden ist. Die Grundzüge dieser Verfahren werden leicht an Hand der Fig. 1 verständlich, in der das Schema der allgemeinen Konkavgitteraufstellung dargestellt ist. In der Figur ist *ABC* das Konkavgitter, das den Krümmungsradius *r* besitzt. Die wichtigste Eigenschaft des Konkavgitters ist, wie bekanntlich erstmalig von ROWLAND gezeigt wurde, die, daß eine scharfe Fokussierung des gesamten Gitterspektrums statthat, wenn die Gittermitte, der Eintrittsspalt und die photographische Platte auf einem Kreise liegen, dessen Durchmesser gleich dem Krümmungsradius des Gitters ist. Liegt der Eintrittsspalt *S* an einer beliebigen Stelle des erwähnten ROWLANDschen Kreises und ist *R* dann das vom Gitter *ABC* direkt reflektierte Bild des

Spaltes, so liegen die Gitterspektren der verschiedenen Ordnungen rechts und links von diesem direkten Bild auf dem ROWLANDschen Kreise. Die allgemeine Gittergleichung lautet bekanntlich

$$n \cdot \lambda = d(\sin\varphi \pm \sin\psi),$$

wo n die Ordnung des betrachteten Spektrums, d die Gitterkonstante, φ den Einfallswinkel und ψ den Beugungswinkel bedeutet. Bei senkrechtem Einfall vereinfacht sich diese Beziehung zu

$$n\lambda = d \cdot \sin\psi.$$

Für die Dispersion bei senkrechtem Lichteinfall ergibt sich daraus der Ausdruck

$$\frac{d\lambda}{dx} = \frac{d}{f \cdot n},$$

in dem f die Brennweite des Konkavgitters ist. Wie man daraus ersieht, ist bei senkrechtem Einfall

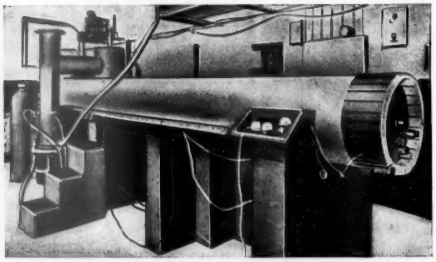

Fig. 2. 6 m-Vakuumspektrograph mit senkechtem Lichteinfall im Massachusetts Institute of Technology.

die Lineardispersion für alle Wellenlängen konstant. Für einen Gitterspektrographen mit einem Gitter von 1 m Krümmungsradius und 1500 Strichen pro Zoll (= 591 Strichen pro Millimeter), eine für Vakuumspektrographen oft verwendete Gitterform, ergibt sich beispielsweise eine Dispersion von 17,0 Å/mm. Ein Hauptvorteil des Spektrographen mit senkrechtem Einfall liegt in dieser für alle Wellenlängen konstanten Dispersion. Man kommt so mit wenigen, weit auseinanderliegenden Wellenlängennormalen aus und kann sehr genaue Wellenlängenmessungen ohne komplizierte Korrektionen durchführen. Ein weiterer, für die meisten Untersuchungen allerdings weniger wichtiger Vorteil der Methode des senkrechten Einfalls liegt auch darin, daß man bei senkrechtem Lichteinfall, dagegen nicht mehr bei schrägem Einfall, eine von Astigmatismus freie Abbildung des Eintrittsspaltes bzw. der Lichtquelle erhält. Aus diesen genannten Gründen sind bis in die letzten Jahre zahlreiche, zum Teil sehr große Vakuumspektrographen mit senkrechtem Lichteinfall gebaut worden. Den größten derartigen Apparat, der vor einigen Jahren von HARRISON im Massachusetts Institute of Technology aufgestellt und vor allem zu genauen Wellenlängenmessungen und zu Untersuchungen an kurzwelligen Molekülspektren benutzt wurde, zeigt die Fig. 2. Der Apparat, der eine Brennweite von 6 m besitzt, ergibt in der ersten Ordnung eine Dispersion von 1,32 Å/mm. Da das verwendete Gitter noch bis zur sechsten Ordnung lichtstarke Bilder liefert, kann so maximal eine Dispersion von 0,22 Å/mm erzielt werden. Der Hauptnachteil des Vakuumspektrographen mit senkrechtem Einfall liegt darin, daß er wegen der Abnahme des Reflexionsvermögens der Beugungsgitter mit kürzer werdenden Wellen nur bis zu einer im allgemeinen etwa bei 500 Å liegenden kurzwelligen Grenze verwendet werden kann. Will man kurzwelligere Strahlungen untersuchen, so kann man, wie schon erwähnt, bei Beibehaltung des senkrechten Lichteinfalls an Stelle eines normalen Konkavgitters, wie man es auch für die Spektroskopie im Sichtbaren benutzt, nach dem Vorgang von MILLIKAN ganz leicht geritzte Gitter verwenden, die im extremen Ultraviolett ein wesentlich größeres Reflexionsvermögen aufweisen als die normalen, mit tiefen Furchen versehenen Gitter. Mit den besten leicht geritzten Gittern gelingt es, sehr starke Linien bis zu 140 Å herab aufzunehmen, jedoch benutzt man in diesem Grenzgebiet besser das Gitter mit streifendem Einfall, welches auch das einzige Mittel zu einem noch weiteren Vordringen nach kürzeren Wellen darstellt. Dieser Methode liegt der 1925 von H. A. COMPTON für die Röntgenspektroskopie nutzbar gemachte Umstand zugrunde, daß, wie aus den FRESNELschen Gleichungen folgt, das Reflexionsvermögen von Spiegeln mit wachsendem Einfallswinkel beträchtlich zunimmt. Da für alle festen Substanzen im Gebiet der Röntgenstrahlen und des kurzwelligen Ultraviolett zudem der Brechungsexponent kleiner als eins ist, folgt bei Vernachlässigung der Absorption in dem Spiegelmaterial sogar, daß bei einem bestimmten sehr kleinen Einfallswinkel Totalreflexion eintreten muß. Naturgemäß ist in Wirklichkeit stets eine erhebliche Absorption im Spiegelmaterial vorhanden, so daß man praktisch keine plötzlich einsetzende Totalreflexion, sondern nur eine stetige, aber doch sehr erhebliche Zunahme der reflektierten Intensität mit dem Einfallswinkel findet. B. EDLÉN, ein Mitarbeiter des SIEGBAHNschen Institutes, erhielt so mit einem Gitter, das bei senkrechtem Lichteinfall unterhalb von 320 Å keine merkliche Reflexion mehr zeigte, für verschiedene nahezu streifende Einfallswinkel die in der folgenden Tabelle 2 angegebenen kürzesten Wellenlängen:

Tabelle 2.

Glanzwinkel	Kürzeste erhaltene Wellenlänge
90°	320 Å
30°	160 Å
10°	75 Å
5,4°	53 Å

Naturgemäß hängt die kürzeste mit einem Apparat mit streifendem Einfall erreichbare Wellenlänge außer von dem Einfallswinkel auch sehr von der Art des Gitters ab, so daß man auch bei streifendem Einfall zweckmäßig leicht geritzte Gitter

verwendet. Die Methode des Konkavgitterspektrographen sowie insbesondere auch die Herstellung von geeigneten leicht geritzten Konkavgittern ist seit dem Jahre 1928 von M. SIEGBAHN und seinen verschiedenen Mitarbeitern zu großer technischer

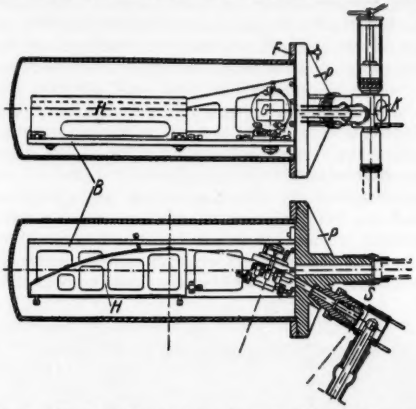

Fig. 3. Konstruktionsskizze eines Spektrographen mit streifendem Lichteinfall.

Vollendung entwickelt worden, so daß seit einigen Jahren mit Hilfe des Gitters mit streifendem Einfall ein Eindringen in Wellenlängengebiete möglich ist, die schon wieder den gewöhnlichen Röntgenmethoden zugänglich sind. Die schematische Konstruktion eines SIEGBAHNschen Vakuumspektrographen mit streifendem Einfall ersieht man aus der Fig. 3, auf der man deutlich die Lichtquelle, den Eintrittsspalt, das streifend getroffene Gitter, die entsprechend dem ROWLANDschen Kreis gebogene photographische Platte sowie das die gesamte Anordnung umgebende Vakuumgehäuse erkennt. Einen äußeren Eindruck von einem Apparat mit streifendem Einfall gibt die Fig. 4, die einen neueren SIEGBAHNschen Apparat darstellt. Durch den streifenden Einfall ist nicht nur die kürzeste erreichbare Wellenlänge sehr weit ins Kurzwellige verschoben, sondern auch die Dispersion des Apparates gegenüber dem senkrechten Einfall sehr beträchtlich erhöht, wie man aus der in Fig. 5 gegebenen Gegenüberstellung der Dispersionen desselben Apparates bei senkrechtem Einfall sowie bei unter 80° erfolgendem Einfall erkennt. Aus dieser Figur erkennt man auch, wie schon oben kurz erwähnt wurde, daß die Dispersion bei streifendem Einfall keineswegs mehr konstant ist, so daß man bei der Auswertung der Aufnahmen auf komplizierte Aus-

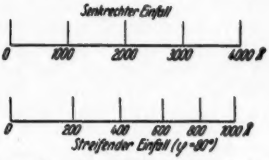

Fig. 5. Dispersion desselben Gitters bei senkrechtem und streifendem Einfall.

wertungsmethoden bzw. auf die Verwendung von sehr dicht liegenden Standardwellenlängen angewiesen ist. Die moderne Vakuumspektroskopie verfügt so in dem Apparat mit streifendem Einfall heute über ein Instrument, welches bis zu Wellenlängen von etwa 20 Å herab bei hoher Dispersion scharfe und lichtstarke Spektren aufzunehmen gestattet. Bei noch kürzeren Wellenlängen ist auch die Methode des streifenden Einfalls wegen der dann nur noch sehr geringen Lichtreflexion des Spiegelmaterials sowie auch im Hinblick auf die gegenüber den Kristallröntgenverfahren geringere Dispersion nicht mehr zweckmäßig, und man benutzt in diesem Gebiet daher bereits besser die aus der klassischen Röntgenspektroskopie wohlbekannten Methoden der Kristallbeugung. Die auf der Beugung an Kristallgittern beruhenden Röntgenmethoden sind bekanntlich gemäß der BRAGGschen Beziehung

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin\varphi$$

auf Wellenlängen begrenzt, die kleiner als $2d$ sind (d = Gitterkonstante des Kristallgitters). Zur Untersuchung des Grenzgebietes zwischen den langwelligen Röntgenstrahlen und dem extrem kurzwelligen Ultraviolett muß man also Kristalle mit möglichst großer Gitterkonstante benutzen. Von den üblichen Kristallen besitzt Glimmer mit $2d$ = 19,9 Å die größte Gitterkonstante und wird daher für derartige Untersuchungen mit Vorliebe benutzt. Ferner sind in besonderen Einzelfällen auch verschiedene organische Kristalle mit noch erheblich größeren Gitterkonstanten zur Spektroskopie im ultraweichen Röntgengebiet benutzt worden. Einige derartige Kristalle, bei deren Verwendung man mit Hilfe der Kristallbeugungsmethode bis

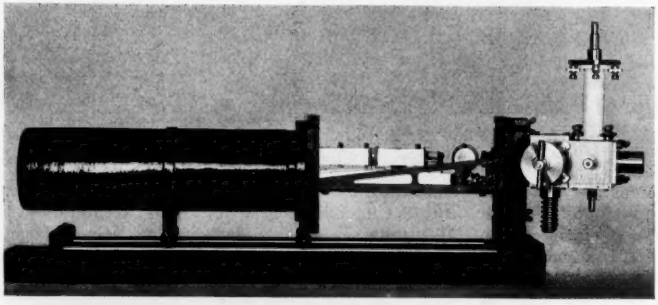

Fig. 4. SIEGBAHNscher Vakuumspektrograph mit streifendem Einfall.

weit in das Arbeitsgebiet der Gitterspektrographen vordringen kann, sind in der nachstehenden Tabelle 3 aufgeführt:

Tabelle 3.

Lauro-Stearinsäure . . .	$2d = 54{,}5$ Å
Palmitinsäure	$2d = 71$ Å
Pb-Palmitat	$2d = 91$ Å
Cerotinsäure	$2d = 145$ Å

In dem Grenzgebiet zwischen 5 und 20 Å wird neuerdings die Kristallbeugungsmethode mit großem Erfolg in Verbindung mit einem erstmalig von JOHANN und JOHANNSSON sowie CAUCHOIS ausgearbeiteten Verfahren benutzt, bei welchem der Kristall eine einem bestimmten Krümmungsradius r entsprechende Krümmung aufweist. Wenn der gebogene Kristall, die Lichtquelle sowie die photographische Platte auf einem Kreis mit dem genannten Radius r liegen, so erreicht man infolge der fokussierenden Eigenschaften dieser Anordnung bei sehr großer Dispersion

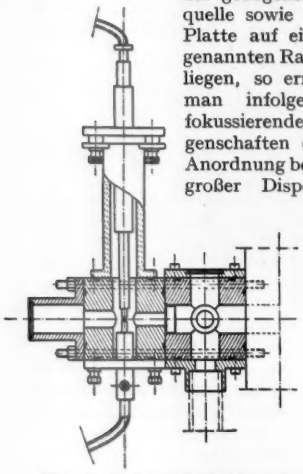

Fig. 6. Vakuumfunkenkammer nach SIEGBAHN.

und Linienschärfe eine hohe Intensität. KARLSON im SIEGBAHNschen Institut konnte so mit einer derartigen Apparatur lichtstarke Spektren bis zu einer Wellenlänge von 45 Å herauf aufnehmen.

Von ähnlich großer Bedeutung für die Entwicklung der modernen Vakuumspektroskopie wie die geschilderten Verbesserungen der optischen Hilfsmittel waren auch die Fortschritte in der Entwicklung leistungsfähiger Lichtquellen für das extreme Ultraviolett. Die ersten Erforscher der kurzwelligen Spektralbereiche, SCHUMANN selbst und nach ihm vor allem auch LYMAN, benutzten als Lichtquelle normale elektrische Gasentladungen bei vermindertem Druck, die in der Tat zur Erzeugung von Strahlungen bis zu etwa 500 Å herab sehr geeignet sind. Für kurzwelligere Strahlungen dagegen ist der von MILLIKAN in die Vakuumspektroskopie eingeführte Hochvakuumfunke oder hot spark die weitaus geeignetste Lichtquelle. Da in den Gebieten kürzerer Wellenlängen in fortschreitendem Maße Spektren höherer Ionisationszustände auftreten, zu deren Anregung immer größere Energien notwendig werden, benutzten MILLIKAN, BOWEN und EYRING sowie nach ihnen vor allem SIEGBAHN und seine Mitarbeiter, von denen hier nur EDLÉN, SÖDERMANN, TYREN und MAGNUSSON genannt seien, zwischen einer im Hochvakuum befindlichen Funkenstrecke übergehende Entladungen von großen Kondensatorbatterien und erzielten so eine außerordentlich kräftige Anregung der hochionisierten Spektren der Elektrodenmetalle. Die konstruktive Durchbildung einer als vakuumspektroskopische Lichtquelle dienenden Hochvakuumfunkenstrecke erkennt man aus der Fig. 6, die die im SIEGBAHNschen Institut allgemein benutzte Anordnung darstellt. Die Elektroden, Stäbe von etwa 5—6 mm Durchmesser, bestehen aus der zu untersuchenden Substanz, die im allgemeinen ein Metall sein wird. Sollen nichtmetallische Stoffe untersucht werden, so werden Hohlelektroden aus Nickel benutzt, in deren Bohrung die meist pulverförmigen Stoffe eingefüllt werden. Nickel ist als Material für derartige Hohlelektroden infolge seines hohen Schmelzpunktes und des Umstandes, daß es im extremen Ultraviolett nur wenige und zudem genau bekannte Linien aufweist, besonders geeignet. Der Elektrodenabstand beträgt einige Millimeter, so daß eine mit der Funkenstrecke verbundene Kondensatorbatterie von etwa 0,1 bis 0,4 μF, die über einen hohen Widerstand von einer Hochspannungsquelle laufend auf etwa 60—80 kV aufgeladen wird, sich mit einer Funkenfolge von etwa 20 Funken pro Minute über die Vakuumfunkenstrecke entlädt. Bei Belichtungszeiten, die je nach der Art der aufzunehmenden Spektrallinien zwischen wenigen Minuten und mehreren Stunden liegen, erhält man so lichtstarke Spektren der hochionisierten Atome (stripped atoms) des Elektrodenmaterials. Die physikalischen Vorgänge in der Vakuumfunkenentladung sind in den letzten Jahren vor allem im SIEGBAHNschen Institut sehr eingehend untersucht

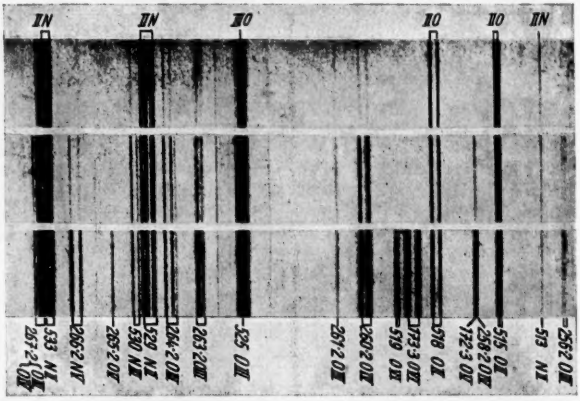

Fig. 7. Einfluß der Selbstinduktion auf die Anregung verschiedener Ionisationsstufen. (Oben $L = 6$, Mitte $L = 3$, unten $L = 0$.)

worden. Nach Messungen von SANNER beträgt die Dauer einer Schwingungsperiode im Vakuumfunken etwa 10 Mikrosekunden. Infolgedessen treten bei den verwendeten hohen Spannungen und Parallelkapazitäten sehr große Stromstärken im Funken auf, die zu einer entsprechend hohen Temperatur in der Funkenbahn Anlaß geben. Nach Untersuchungen von SANNER, ALFVÉN sowie vor allem ROBINSON liegt im Vakuumfunken eine überwiegend thermische Anregung der Spektren vor. Man kann daher mit nur ganz geringfügigen Änderungen die bekannte RUSSELL-SAHAsche Theorie der Lichtanregung in Sternen auch auf den Hochvakuumfunken anwenden und findet so in bester Übereinstimmung mit der Erfahrung, daß je nach den im Funken wirksamen Momentanstromstärken Funkentemperaturen von 10^4 bis 10^5° C auftreten und jeweils nur die diesen Temperaturen entsprechenden Ionisationsstufen intensiv angeregt werden. Will man daher mittels des Hochvakuumfunkens auch niedrigere Ionisationsstufen lichtstark erhalten, so schaltet man zwecks Herabsetzung der Momentanstromstärken und damit der Temperatur im Funken zweckmäßig eine größere Selbstinduktion in den Entladungskreis ein. In Fig. 7 ist dieser Einfluß der Selbstinduktion auf die Anregung der verschiedenen Ionisationsstufen des Sauerstoffs und des Stickstoffs deutlich zu erkennen. Dieses unterschiedliche Verhalten der einzelnen Ionisierungsstufen gegenüber der Einschaltung einer Selbstinduktion ist u. a. auch für die Klassifizierung der Linien eine bedeutende Erleichterung. Meist aber handelt es sich nicht darum, die höheren Ionisierungsgrade zu unterdrücken, sondern vielmehr gerade darum, die Spektren möglichst hochionisierter Atome zu erhalten. Nach dem Gesagten muß man dann möglichst hohe Momentanwerte des Funkenstromes zu erreichen suchen. Wie aus einfachen Überlegungen folgt, ergibt sich für die Abhängigkeit des Maximalwertes des Entladestromes einer Funkenentladung von der Spannung, Kapazität und Selbstinduktion des Funkenkreises die Beziehung

$$i_{max} = V \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Da es aus technischen Gründen schwer möglich ist, die Betriebsspannung eines Hochvakuumfunkens auf mehr als etwa 80—100 kV zu steigern, auch eine Kapazitätserhöhung über etwa 0,4 μF kaum in Frage kommt, läuft das Problem der Anregung möglichst hochionisierter Atome darauf hinaus, die Selbstinduktion des Funkenkreises sehr gering zu halten, d. h. die Zuleitungsdrähte von der Kondensatorbatterie zur Funkenstrecke aus möglichst kurzen, geraden und dicken Drähten herzustellen. ALFVÉN und SANNER maßen bei einer nach derartigen Gesichtspunkten gebauten Anordnung bei einer Funkenspannung von 50 kV und einer Parallelkapazität von 0,4 μF einen Maximalwert der Funkenstromstärke von 16000 A und erhielten unter diesen Bedingungen im äußersten Ultraviolett zwei Linien des C V, die bei 40 und 34 Å lagen, sowie sehr schwach auch die erste Lymanlinie des wasserstoffähnlichen C VI bei 33 Å. Wurde bei sonst ungeänderten Versuchsbedingungen an Stelle der einfachen Drahtzuleitung eine als konzentrisches Kabel ausgebildete Zuleitung zu der Funkenstrecke verwendet, so maßen die genannten Forscher infolge des günstigeren Wertes von C/L bei dieser Anordnung einen Maximalstrom von 47000 A und erhielten auf den Spektrogrammen dementsprechend eine Reihe von Linien, die noch höheren Anregungsstufen entsprechen, so die bei 28 Å liegende zweite Lymanlinie des C VI sowie eine Linie des O VII bei 21 Å. In den letzten Jahren ist es insbesondere B. EDLÉN durch systematische Weiterführung dieser Arbeiten gelungen, außerordentlich hoch ionisierte Atome zu erzeugen und ihre Spektren zu untersuchen. Beispielsweise konnte so die Reihe der Na I-ähnlichen Spektren bis zum 18fach ionisierten Kupfer Cu XIX herauf verfolgt werden. Die Möglichkeit, mittels des modernen Vakuumspektrographen mit streifendem Einfall in Verbindung mit dem Hochvakuumfunken das optische Spektrum bis zu den Röntgenstrahlen herab verfolgen zu können, hatte naturgemäß für die Systematik der optischen Spektren eine außerordentliche Bedeutung. Besonders wichtig waren die erstmalig von MILLIKAN und BOWEN aufgezeigten Gesetzmäßigkeiten der isoelektronischen Reihen, die bei den extrem kurzwelligen Spektren hochionisierter Atome besonders sinnfällig in Erscheinung treten. Wie bekannt ist, ähnelt das Spektrum eines ionisierten Atoms dem Spektrum des im periodischen System um eine Stelle vorhergehenden nichtionisierten Atoms, was dadurch bedingt ist, daß beide Atome ja die gleiche Anzahl von Elektronen besitzen und sich nur durch die um eins verschiedene Kernladungszahl voneinander unterscheiden. Allgemein kann man so, indem man jeweils beim Fortschreiten im periodischen System auch die Ionisationsstufe des betrachteten Atoms entsprechend erhöht, die verschiedenen Ionisationsstufen der einzelnen Elemente in isoelektronische Reihen einordnen, deren Spektren bezüglich der Linienzahl, Feinstruktur, Wellenlängenintervalle und Intensitätsverhältnisse die größte Ähnlichkeit miteinander aufweisen. Im einzelnen ergeben sich aus dem Vergleich zwischen den theoretischen Erwartungen und den experimentellen Befunden wichtige Hinweise auf Feinheiten des Atombaues. Isoelektronische Reihen sind heute bereits in großer Zahl bis zu teilweise sehr hohen Gliedzahlen untersucht worden. Bei den leichteren Elementen ist es gelungen, die Atome aller Elektronen bis auf eins oder zwei zu berauben, so daß man dann wasserstoff- bzw. heliumähnliche Spektren der betreffenden Elemente erhält. Auch bei mittelschweren Atomarten sind bereits sehr lange isoelektronische Reihen aufgestellt worden, beispielsweise konnte von EDLÉN die Reihe der Na I-artigen Spektren bis zum Cu XIX, die der Cl I-artigen Spektren bis zum Co XI, die der Mg I-artigen Spektren bis zum Co XVI verfolgt werden. Während,

wie schon gesagt wurde, die Struktur des Spektrums innerhalb einer isoelektronischen Reihe erhaltenbleibt, verschieben sich naturgemäß beim Weiterschreiten zu höheren Ionisationsstufen entsprechend der vergrößerten Kernladungszahl die Absolutwerte aller Spektrallinien zu immer kürzeren Wellenlängen, wobei für diese Wellenlängenverschiebungen ähnliche einfache Gesetzmäßigkeiten gelten, wie sie schon früher für die Röntgenspektren erkannt worden waren. Beispielsweise gelten so in ähnlich guter Näherung für das Röntgengebiet wie für das kurzwellige optische Gebiet das bekannte MOSELEYsche Gesetz sowie die Gesetze der regulären und irregulären Dubletts, die sich insbesondere bei der Vorhersage der Wellenlänge von unbekannten Linien sowie der Aufspaltungsgröße in

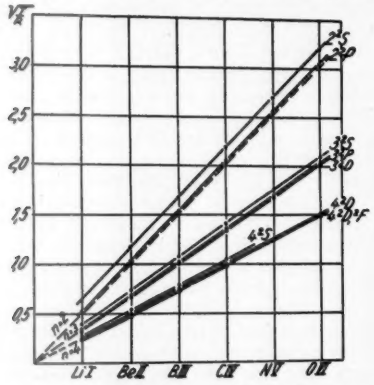

Fig. 8. Moseleygeraden für die optischen Terme der Li I-artigen Spektren der leichten Elemente.

Liniengruppen der kurzwelligen optischen Spektren sehr bewährt haben. Ein Beispiel für die in vielen Fällen sehr gute Gültigkeit des Moseleygesetzes in kurzwelligen optischen Spektren vermittelt die Fig. 8, die die Moseleygeraden für die optischen Terme der Li I-artigen Spektren vom Li I bis zum O VI darstellt. Aus dem feineren Studium dieser hier nur kurz angedeuteten Gesetzmäßigkeiten der isoelektronischen Reihen ergeben sich wichtige weitere Schlüsse über den Feinbau der Atome. Beispielsweise kann so aus der Neigung der Moseleygeraden der Absolutwert der Hauptquantenzahl eines Termes ermittelt werden, ebenso aus Abweichungen von den genannten einfachen Gesetzen auf bestimmte Verhältnisse in der Elektronenstruktur geschlossen werden. Außer der systematischen Erforschung der normalen optischen Atomspektren im kurzwelligen Ultraviolett ergaben die vakuumspektroskopischen Befunde auch wichtiges Material über die auf der Anregung von mehr als einem Elektron beruhenden Spektren, insbesondere der vor allem von BEUTLER und seinen Mitarbeitern untersuchten sog. *b*- und *c*-Spektren, die, da bei ihnen außer dem Leuchtelektron auch ein inneres Elektron angeregt ist, eine Zwischenstellung zwischen den eigentlich optischen und den Röntgenspektren einnehmen. Sehr beachtlich sind auch die neueren Ergebnisse über die im kurzwelligen Ultraviolett liegenden Molekülspektren. Die genaue Kenntnis der kurzwelligen Molekülspektren, von denen in den letzten Jahren in Amerika und auch in Deutschland eine größere Anzahl untersucht worden ist, gibt die Möglichkeit, wichtige Molekülдaten, wie Anregungs-, Dissoziations- und Ionisierungspotentiale, zu erhalten. Besonders erwähnt seien hier vor allem die mit der Kapillarentladung als Lichtquelle ausgeführten Untersuchungen von BEUTLER sowie auch von PRICE über molekulare Absorptionsspektren. Naturgemäß ist auch die Spektroskopie der Röntgenstrahlen, insbesondere der ultraweichen Röntgenstrahlen, durch die geschilderten, auf dem Gebiete der extrem kurzwelligen optischen Spektroskopie erzielten technischen und methodischen Forschritte sehr erheblich gefördert worden. Es sei hier vor allem auf eine zwar schon einige Jahre zurückliegende, aber sehr bedeutsame Arbeit von BÄCKLIN verwiesen, der mittels der in der optischen Vakuumspektroskopie üblichen Gittermethode genaue Absolutbestimmungen von Röntgenwellenlängen ausführte und dabei Wellenlängenwerte erhielt, die um etwa 1,5 Promille höher lagen als die nach der Kristallbeugungsmethode erhaltenen. Wie allgemein bekannt ist, führte die weitere Verfolgung dieser von BÄCKLIN aufgedeckten Diskrepanz dazu, den Wert der elektrischen Elementarladung, der seit MILLIKANS klassischer Öltröpfchenmessung zu $4{,}77 \cdot 10^{-10}$ elst. Einheiten angenommen worden war und der seinerzeit auch der Auswertung der Röntgenwellenlängenmessungen nach der Kristallbeugungsmethode zugrunde gelegt worden war, auf den heute gültigen Wert von $4{,}80 \cdot 10^{-10}$ elst. E. zu erhöhen, nachdem die Richtigkeit der BÄCKLINschen Messungen durch spätere genaue *e*-Bestimmungen nach anderen Verfahren bestens bestätigt worden war. Eine Nachprüfung der MILLIKANschen Öltröpfchenversuche durch KELLSTRÖM (1937) ergab dabei, daß der damals der Auswertung zugrunde gelegte Wert der Luftviskosität fehlerhaft gewesen war und bei Einsetzung des neuen η-Wertes auch die MILLIKANschen Messungen zu einem *e*-Wert von etwa $4{,}80 \cdot 10^{-10}$ elst. E. führen. Mittels des modernen Konkavgittervakuumspektrographen mit streifendem Lichteinfall sind in den letzten Jahren insbesondere von SIEGBAHN und seinen Mitarbeitern auch die ultraweichen Röntgenspektren, die insbesondere bei den schweren und schwersten Elementen weit in das Gebiet des kurzwelligen optischen Ultraviolett heraufreichen, systematisch untersucht worden. In der Fig. 9 ist eine mit dem Konkavgitterspektrographen gewonnene Aufnahme SIEGBAHNS der N-Reihe der schwersten Elemente wiedergegeben. Unter anderem erkennt man eine bei 50 Å liegende Röntgenlinie des Thoriums, die auf der Aufnahme bis zur neunten Ordnung verfolgt werden kann. Unterhalb der Röntgenspektren erkennt man auf den einzelnen

Aufnahmen jeweils das der genauen Wellenlängenmessung dienende Bezugssystem der gleichzeitig aufgenommenen kurzwelligen optischen Linien. Insbesondere durch den Vergleich höherer Ordnungen der Röntgenlinien mit diesen optischen Bezugslinien ist eine sehr genaue Bestimmung der Röntgenwellenlängen im langwelligen Röntgengebiet möglich geworden, da diese optischen Linien ihrerseits wieder in entsprechend höheren Gitterordnungen an durch interferometrische Messungen absolut bestimmte langwellige Spektrallinien angeschlossen sind. Die genaue Untersuchung der langwelligen Röntgenserien der verschiedenen Elemente hat in ähnlicher Weise wie die Untersuchung der isoelektronischen Reihen der kurzwelligen optischen Spektren wichtige Beiträge zu unseren Kenntnissen über die feinere Elektronenstruktur der verschiedenen Atome geliefert. Darüber hinaus hat sich aber aus diesen Untersuchungen im ultraweichen Röntgengebiet auch neues Tatsachenmaterial für die Theorie des festen Zustandes und insbesondere die Elektronentheorie der Metalle ergeben. So konnten die experimentell gefundenen Zusammenhänge zwischen der Feinstruktur der ultraweichen Röntgenlinien und der chemischen Bindung bzw. dem Kristallzustand bereits in Verbindung gebracht werden mit der Ausbreitung von Elektronenwellen in Kristallgittern und mit der Lage der dadurch bedingten BRILLOUINschen Zonen. Als Beispiel möge die in Fig. 10 wiedergegebene Aufnahme SIEGBAHNS und MAGNUSSONS dienen, die eindrucksvoll die Verbreiterung einer ultraweichen Röntgenlinie des Kohlenstoffs in Abhängigkeit von dem Bindungszustand der Kohlenstoffatome zeigt. Mit diesen wenigen Beispielen muß aus Raummangel hier die Erwähnung der Ergebnisse der auf den optischen Methoden der Vakuumspektroskopie beruhenden Spektroskopie der ultraweichen Röntgenstrahlen abgeschlossen werden, um so mehr, als noch eine wichtige Anwendung der Ergebnisse der eigentlichen optischen Spektroskopie im extremen Ultraviolett zu behandeln ist. Es ist dies die Anwendung der durch die Vakuumspektroskopie erschlossenen Kenntnisse der kurzwelligen optischen Spektren bei der Deutung einer größeren Anzahl von Linien des normalen Spektralgebietes, die in gewissen astronomischen und geophysikalischen Objekten in unter Umständen beachtlicher Intensität auftreten und die trotz aller darauf verwandten Mühe viele Jahrzehnte lang keinem bekannten irdischen Element zugeordnet werden konnten. So kannte man in den Spektren der astronomischen Nebel seit langem eine Reihe von derartigen Linien, die man einem hypothetischen Element Nebulium zugeschrieben hatte. Ferner treten im Spektrum des Nordlichtes eine Reihe von intensiven Linien auf, die lange einem unbekannten Element Geocoronium zugeschrieben wurden. Obwohl man schon seit längerer Zeit auf Grund der Entwicklung der modernen Atomtheorie wußte, daß derartige noch unbekannte Elemente im periodischen System der Elemente nicht vorhanden sein können, es sich vielmehr bei den Trägern der genannten Linien um bereits bekannte und wahrscheinlich sehr verbreitete Elemente handeln muß, bestand doch zunächst über die Frage einer Zuordnung zu einem bestimmten Element vollkommene Unklarheit. Im Jahre 1927 erkannte

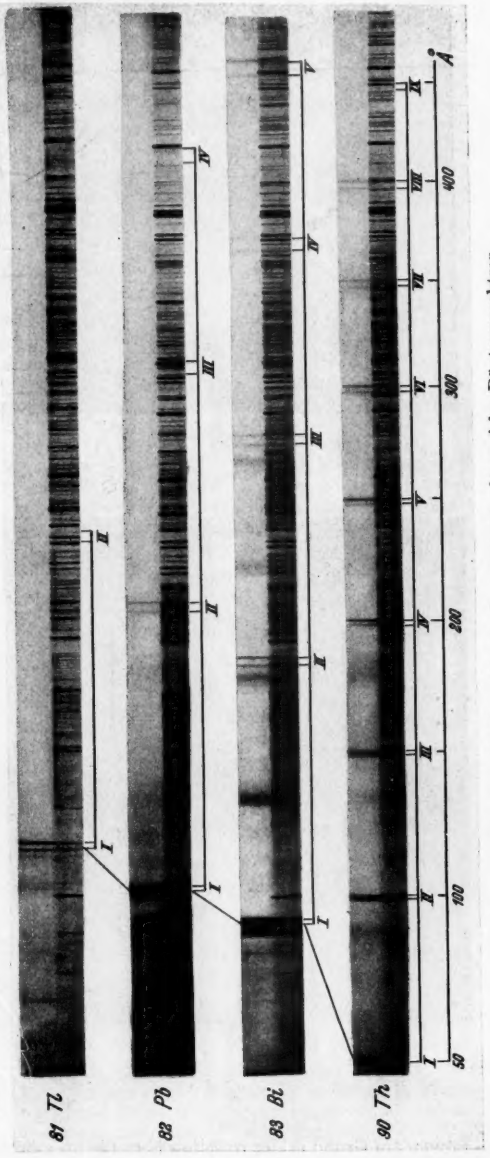

Fig. 9. Mit dem Konkavgitter aufgenommene ultraweiche Röntgenspektren.

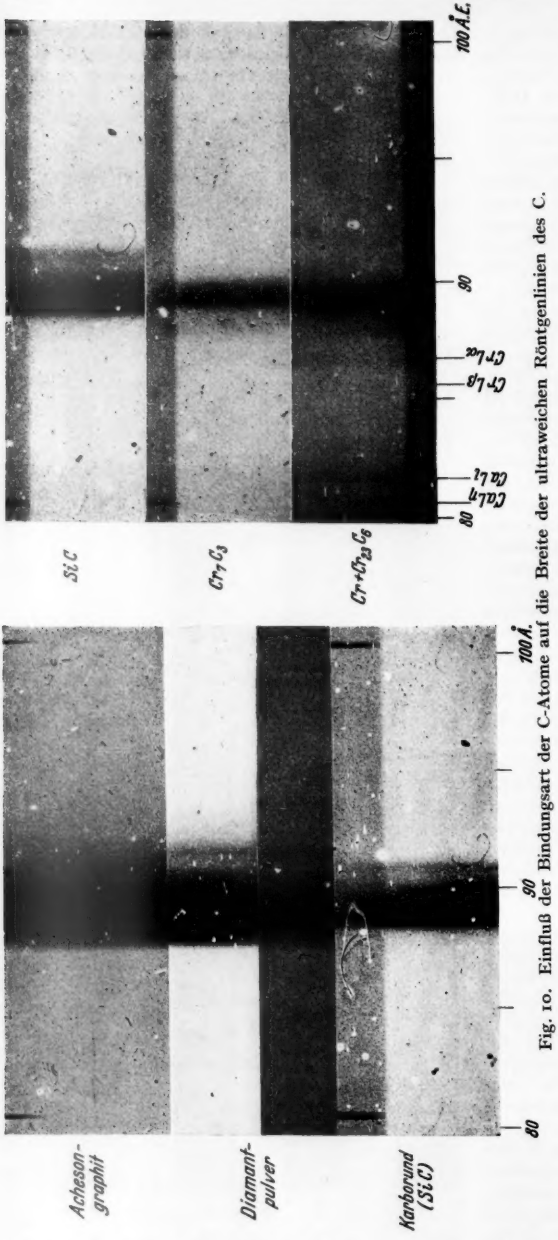

Fig. 10. Einfluß der Bindungsart der C-Atome auf die Breite der ultraweichen Röntgenlinien des C.

BOWEN auf Grund seiner Arbeiten über die im extrem Kurzwelligen liegenden Spektren der hochionisierten leichteren Elemente, daß eine größere Anzahl der genannten Nebellinien als verbotene Übergänge zwischen hoch angeregten Niveaus von mehrfach ionisierten bekannten Atomen, vor allem Sauerstoff und Stickstoff, gedeutet werden müssen. In der Fig. 11 ist so das in Frage kommende Niveauschema der tiefen Terme des einfach und zweifach ionisierten Sauerstoffs sowie des einfach ionisierten Stickstoffs nebst den aus diesem Niveauschema sich ergebenden Übergängen dargestellt, die sämtlich mit bekannten und intensiven Nebellinien identisch sind. Insbesondere konnten bereits 1928 die beiden stärksten Nebellinien, die bei 5006,8 und 4958,9 Å liegen und als N_1 und N_2 bezeichnet werden, von BOWEN dem O III, d. h. dem zweifach ionisierten Sauerstoffatom, zugeschrieben werden. Wie man aus dem dargestellten Niveauschema sieht, handelt es sich bei den in Rede stehenden Nebellinien um Quadrupolübergänge, die nach den für normale Dipolstrahlung geltenden Auswahlregeln verboten sind. Nach der Theorie sind nun diese Übergänge nicht vollkommen ausgeschlossen, sondern nur außerordentlich unwahrscheinlich. Während nämlich die Verweilzeit eines Elektrons in einem angeregten Niveau, von welchem aus normale Dipolübergänge zu tieferen Niveaus führen, etwa 10^{-8} sec beträgt, sind die Anregungszustände, von denen aus nur Quadrupolstrahlung emittiert werden kann, metastabil und weisen Lebensdauern zwischen 10^{-3} und einigen Sekunden auf. Bei hohen Gasdichten ist aber die Zahl der Zusammenstöße der Atome untereinander so groß, daß ein in einem metastabilen Zustand angeregtes Atom seine Anregungsenergie strahlungslos durch Stöße zweiter Art wieder abgegeben hat, bevor es eine zur Emission der Quadrupolstrahlung notwendige große Lebensdauer erreicht hat. Auch in den im Laboratorium benutzten Gasentladungsröhren, die mit sehr geringem Druck arbeiten, ist in den meisten Fällen die Gasdichte noch zu hoch, als daß es zu einer Emission der verbotenen Quadrupolstrahlungen kommen könnte. In den kosmischen Nebeln dagegen ist, wie aus anderen Ergebnissen der Astrophysik folgt, die Materiedichte nur mehr von der Größenordnung von 10^{-20} g/cm³, so daß sich hier für die Zeitspanne zwischen zwei Zusammenstößen von Atomen Werte von etwa 10^5 sec ergeben und in der Tat hier eine ungestörte Emission der „verbotenen" Linien stattfinden kann. Die Existenz der verbotenen Linien in den kosmischen Nebeln bestätigt so die aus anderen astrophysikalischen Untersuchungen gewonnenen Vorstellungen sehr gut und gibt darüber hinaus weitere Aufschlüsse über den physikalischen Zustand

in diesen kosmischen Objekten. Auch die Nordlichtlinien ließen sich in derselben Weise als verbotene Übergänge zwischen tief liegenden Termen, insbesondere des Sauerstoffs, deuten. Die bekannte grüne Nordlichtlinie bei 5577,35 Å, die sich als Kombination der tiefen metastabilen Terme $^1D_2$ und $^1S_0$ des neutralen Sauerstoffatoms O I erwies, konnte dann 1930 auch im Laboratorium mit Hilfe einer Glimmentladung durch nur Spuren von Sauerstoff enthaltendes Argon künstlich erzeugt werden. FRERICHS und CAMPBELL konnten dann diese Linie im Laboratorium im Magnetfeld untersuchen und auf Grund ihrer Zeemanaufspaltung eindeutig als Quadrupolstrahlung erweisen. In Fortsetzung dieser Untersuchungen war es schon wenige Jahre nach den ersten BOWENschen Untersuchungen über die verbotenen Linien gelungen, die meisten der in den kosmischen Objekten vorkommenden, so viele Jahrzehnte rätselhaft gebliebenen Linien sicher zu deuten. Vor drei Jahren waren im wesentlichen noch einige Linien, die in den Spektren früherer B-Sterne sowie in einigen Novae auftreten, sowie vor allem die Coronalinien der Sonne ungedeutet geblieben. Grundsätzlich war kaum zu bezweifeln, daß es sich auch hier um verbotene Linien handelt, die von hochionisierten Atomen bekannter Elemente emittiert werden. Auf Grund der in den letzten Jahren von EDLÉN und anderen durchgeführten sehr gründlichen Untersuchung und weitgehendsten Klassifizierung der kurzwelligen Spektren der mittelschweren Elemente, insbesondere des Eisens, Nickels, Cobalts, Chroms und Zinks, ist auch hier ein grundlegender Fortschritt erzielt worden. Verschiedene Linien in den B-Sternen konnten daraufhin als verbotene Übergänge des Fe III eingeordnet werden und entsprechend die noch unbekannten Linien im Spektrum der Nova pictoris 1925 als ebensolche des Fe VII. Auch die Hauptlinien der Sonnencorona dürften auf Grund der neueren Untersuchungen EDLÉNS ihre Deutung gefunden haben. Es handelt sich dabei bekanntlich um insgesamt 22 Linien, die im Spektrum der inneren Corona auftreten und in ihrer Intensität nur insgesamt 1% der Coronahelligkeit ausmachen. Früher hatte man diese Linien, die nur schwierig zu beobachten sind, wohl auch einem hypothetischen Element Coronium zugeschrieben. 1939 hatte GROTRIAN bemerkt, daß die Wellenzahlen von zwei starken Coronalinien sehr genau mit den von EDLÉN im extremen Ultraviolett gemessenen Aufspaltungen in den Grundtermen des Fe X und Fe XI übereinstimmen. EDLÉN hat daraufhin diese interessante Frage systematisch weiterverfolgt und fand 1940, daß zwei weitere Coronalinien mit Grundtermdifferenzen des Ca XII sowie des Ca XIII übereinstimmen. Es war daraufhin zu vermuten, daß in ähnlicher Weise auch die übrigen Coronalinien höheren Ionisationsstufen des Eisens und einiger ähnlicher Elemente zugeschrieben werden dürften. Leider sind gerade die in Frage kommenden Terme des Fe XIII und des Fe XIV noch nicht experimentell ermittelt, so daß man diese Termlagen aus den bekannten Gesetzmäßigkeiten der isoelektronischen Reihen extrapolieren mußte. Die stärkste Coronalinie 5303 Å wurde so dem Fe XIV, drei weitere Coronalinien dem Fe XIII zugeordnet. Ebenso konnten weitere Linien der Corona dem Ni XII, Ni XIII, Ni XIV und Ni XV zugeordnet werden, so daß jetzt auf Grund der immerhin sehr wahrscheinlichen EDLÉNschen Deutung von den 22 Coronalinien die 15 intensivsten Linien, die 97% der Intensität aller Coronalinien ausmachen, eine Erklärung gefunden haben dürften[1]). Sehr befriedigend erscheint dabei auch die Tatsache, daß die intensiveren Coronalinien gerade von den kosmisch häufigen Elementen Eisen, Cal-

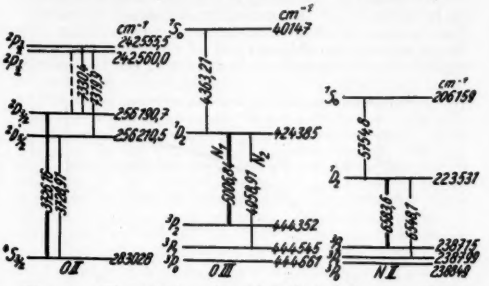

Fig. 11. Einordnung der Nebellinien in das Termschema des O II, O III und N II.

cium und Nickel herrühren, wobei zudem auch die Intensitätsverhältnisse der diesen Elementen zugeschriebenen Coronalinien den relativen Häufigkeiten der genannten Elemente gut entsprechen. Eine gewisse Schwierigkeit der EDLÉNschen Deutung liegt bisher noch darin, daß man dabei auf wesentlich höhere Coronatemperaturen kommt, als von seiten der Astrophysik bisher angenommen wurde. Allerdings scheint diese Schwierigkeit nicht unüberwindbar zu sein, und insbesondere könnte sogar bei weiterer Bestätigung der von EDLÉN vorgeschlagenen Deutung der Coronalinien eine gründliche Revision der bisherigen Annahmen über den physikalischen Zustand in der Corona notwendig werden.

In der vorstehenden Darstellung mußten der Kürze wegen oft nur sehr begrenzte Ausschnitte aus den einzelnen Arbeitsgebieten der Vakuumspektroskopie gebracht werden, durch die naturgemäß in keiner Weise die Fülle der Ergebnisse und weiteren Anwendungen erschöpft wird. Alle diese Forschungsergebnisse gehen letzten Endes auf die genialen Pionierarbeiten VIKTOR SCHUMANNS zurück. So ist die glanzvolle Entwicklung der heutigen Vakuumspektroskopie die schönste Anerkennung und Rechtfertigung des Lebenswerkes dieses Forschers und großen Idealisten.

[1]) *Anmerkung bei der Korrektur:* Durch neue Untersuchungen EDLÉNS ist die oben genannte Deutung der Coronalinien inzwischen vollkommen gesichert worden.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Der Einfluß von β-Alanin auf das Verhältnis Atmung/Gärung bei Hefe.

β-Alanin ist seit langem als einer der wichtigsten Wuchsstoffe der Hefe bekannt. Bei Untersuchungen über die Wuchsstoffwirkung des β-Alanins auf Hefe habe ich gefunden, daß Zusatz von β-Alanin zur Nährlösung eine Verschiebung im Verhältnis zwischen Atmung und Gärung der Hefe bewirkt, und zwar zugunsten der Atmung.

Die zu den Versuchen benutzte Hefe (Saccharomyces cerevisiae, C. L. 1) wurde nach der in unserem Laboratorium üblichen Methode gezüchtet. Die Nährlösung enthielt außer Zucker und den notwendigen anorganischen Salzen die Wuchsstoffe Biotin und Glutaminsäure sowie wechselnde Mengen von β-Alanin. Die Hefe wurde in 100 ccm-Erlenmeyerkolben mit je 50 ccm Nährlösung gezüchtet; in gewissen Zeitabständen wurden Proben zur Bestimmung von Atmung und Gärung entnommen. Atmung und Gärung wurden nach der gewöhnlichen Warburg-Methode gemessen; die Hefe wurde

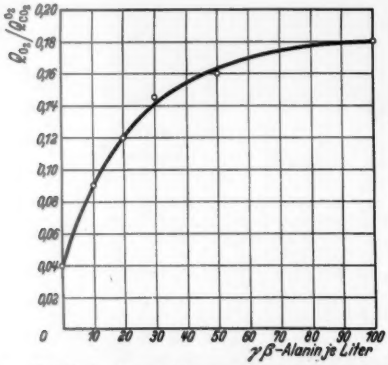

Fig. 1. *Verhältnis Atmung/Gärung nach 24 Stunden.* Nährlösung mit 0,2 γ Biotin + 200 mg Glutaminsäure pro Liter und verschiedenen Mengen β-Alanin.

in der Nährlösung, in der sie gewachsen war, aufgeschwemmt. In Fig. 1 ist das Verhältnis zwischen Atmung und Gärung nach 24stündigem Wachstum dargestellt. Wie der Versuch zeigt, verschiebt sich das Verhältnis bei Zusatz von β-Alanin um mehr als das Vierfache zugunsten der Atmung. Auch nach längerem Wachstum wirkt β-Alanin noch in gleicher Richtung, jedoch ist die Verschiebung im Verhältnis Atmung/Gärung bei zunehmendem Alter der Hefe geringer. So ist das Verhältnis nach 9tägigem Wachstum ohne β-Alanin 0,19, mit β-Alanin 0,30. Pantothensäure hat anscheinend dieselbe Wirkung wie β-Alanin.

Die Hefe wächst, übereinstimmend mit den oben beschriebenen Versuchen, bei Zusatz von β-Alanin zur Nährlösung ökonomischer als ohne β-Alanin, da sie mehr Trockensubstanz pro Gramm Zucker bildet.

Kopenhagen (Dänemark), Carlsberg-Laboratorium, den 26. August 1942. Vagn Hartelius.

Einfluß von β-Alanin und anderen Wuchsstoffen auf den Stickstoffgehalt der Hefe.

Bei Untersuchungen über Hefewuchsstoffe fand ich, daß der prozentuale Gehalt der Hefe an Stickstoff durch Zusatz der Wuchsstoffe β-Alanin, Aneurin und Glutaminsäure zur Nährlösung verändert wird.

Die zu den Versuchen benutzte Hefe (Saccharomyces cerevisiae, C. L. 1) wurde in 100 ccm-Erlenmeyer-Kolben mit je 50 ccm Nährlösung gezüchtet. Die Lösung enthielt in allen Fällen neben Zucker und den notwendigen anorganischen Salzen 0,2γ Biotin pro Liter. In gewissen Zeitabständen wurden Proben zur Bestimmung des Stickstoffgehaltes der Hefe entnommen. Die Hefe wurde auszentrifugiert, mehrmals in der Zentrifuge ausgewaschen und in Wasser aufgeschwemmt; dann wurden Stickstoffgehalt und Trockensubstanz gleicher Mengen der Aufschwemmung bestimmt.

Durch Zusatz von β-Alanin zur Nährlösung wird der Stickstoffgehalt der Hefe herabgesetzt; die Abnahme wird um so größer, je älter die Hefe ist. Die Abnahme des Stickstoffgehaltes der Hefe hängt auch von der Menge des β-Alanins ab; je mehr β-Alanin zugesetzt wird, desto geringer wird der Stickstoffgehalt, bis bei Zusatz von 10—50 γ β-Alanin pro Liter das Minimum der Stickstoffmenge erreicht

Tabelle 1. Einwirkung von β-Alanin auf den Stickstoffgehalt der Hefe.
Nährlösung mit 0,2 γ Biotin und 200 mg Glutaminsäure pro Liter. Versuchszeit 4 Tage.

Zugesetzte Menge β-Alanin pro Liter γ	Hefestickstoffgehalt %	Hefetrockensubstanz pro 50 ccm mg
0	8,2	14,1
1	7,9	15,2
3	6,7	17,5
10	6,2	29,2
30	5,6	96,1
100	5,5	71,3
500	5,6	63,5

ist. In Tabelle 1 ist ein Beispiel für die Versuche dargestellt. Die oben mitgeteilten Ergebnisse bestätigen die früher von Nielsen und Dagys[1]) festgestellte Tatsache, daß der Stickatoffgehalt der Hefe bei Zusatz von β-Alanin zur Nährlösung abnimmt; ihre Versuche wurden jedoch mit einer etwas snders zusammengesetzten Nährlösung ausgeführt, so daß sich unsere Resultate nicht direkt miteinander vergleichen lassen.

Bei Zusatz von Aneurin (50 γ pro Liter) oder Glutaminsäure (200 mg pro Liter) nimmt der Stickstoffgehalt der Hefe zu; Aneurin wirkt am stärksten (Tabelle 2). Bei gleich-

Tabelle 2. Einwirkung von β-Alanin, Aneurin und Glutaminsäure auf den Stickstoffgehalt der Hefe.
Nährlösung mit 0,2 γ Biotin pro Liter. Versuchszeit 4 Tage.

Zusatz pro Liter	Hefestickstoffgehalt %	Hefetrockensubstanz pro 50 ccm mg
Ohne weitere Zusatz . . .	8,0	12,1
+ 100 γ β-Alanin	5,8	25,3
+ 50 γ Aneurin	9,4	11,8
+ 200 mg Glutaminsäure	8,6	14,8
+ β-Alanin + Aneurin . .	6,6	88,4
+ β-Alanin + Glutaminsäure	5,7	67,0
+ Aneurin + Glutaminsäure	8,4	15,3
+ β-Alanin + Aneurin + Glutaminsäure . . .	6,6	125,6

zeitigem Zusatz von β-Alanin kann Aneurin die vermindernde Wirkung des β-Alanins auf den Stickstoffgehalt der Hefe teilweise aufheben, so daß dieser durch Aneurin + β-Alanin weniger vermindert wird als durch β-Alanin allein; Glutaminsäure hat dagegen keine derartige Wirkung (Tabelle 2).

Pantothensäure hat anscheinend dieselbe vermindernde Wirkung auf den Stickstoffgehalt der Hefe wie β-Alanin.

Kopenhagen (Dänemark), Carlsberg-Laboratorium, den 26. August 1942. Vagn Hartelius.

[1]) N. Nielsen u. J. Dagys, C. r. Lab. Carlsberg, Sér. physiol. **22**, 447 (1940).

Zur Analyse der Antigenwirkung.

Nach alter Erfahrung kann man bei jedem statistischen Zahlenmaterial durch Differenzenbildung die zufällige Komponente verstärken oder umgekehrt durch Summenbildung die systematischen Züge deutlicher erkennbar machen. Von dieser Erwägung hat man sich auch in der Immunbiologie leiten lassen. So haben wir [P.[1]), v. Sch.[2])] bei der Untersuchung der Wirksamkeit von Diphtherieimpfstoffen die Wirkungskurve, also die Summenkurve, betrachtet. In einem Netz, dessen eine Achse logarithmisch, dessen andere nach dem normalen Wahrscheinlichkeitsintegral eingeteilt ist, wird nach einer verbreiteten variationsstatistischen Arbeitshypothese die theoretische Wirkungskurve zur geraden Linie. Das Experiment liefert nur eine Anzahl Punkte, denen man unter Berücksichtigung der Unsicherheit

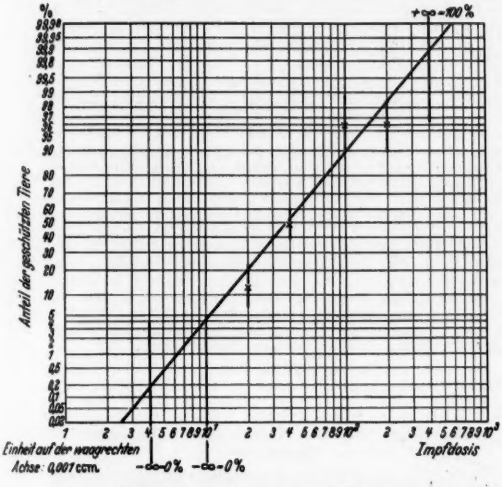

Fig. 1. Graphische Bestimmung der Wirkungsgeraden eines Diphtherie-Impfstoffes.

der einzelnen Bestimmungen eine Gerade anzupassen hat. Solange das ohne unwahrscheinlich starke Abweichungen abgeht, ist die Arbeitshypothese nicht widerlegt. Eine lange Erfahrung mit verschiedenen biologisch wirksamen Substanzen hat gelehrt, daß sich in der Regel ganz zwanglos eine Gerade anpassen läßt.

P. Jordan[3]) hat eine treffertheoretische Analyse der Antigenwirkung vorgenommen. Damit tritt eine zweite Arbeitshypothese mit der ersten in Wettstreit. K. G. Zimmer[4]) hat gezeigt, daß die Trefferkurven für $n = 1, 2, \ldots, 5$ Treffer im erwähnten Koordinatennetz nach oben offene, schwach gekrümmte Linien bilden. Wegen der geringen Krümmung wird es oft möglich sein, eine derartige Kurve dicht an den beobachteten Punkten vorbeizuführen. Ob die Anpassung besser oder schlechter ausfällt als bei Angleichung an eine Gerade, muß im allgemeinen mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung (χ^2-Methode) entschieden werden.

Gelegentlich ermöglicht aber schon ein Blick auf die Zeichnung eine Entscheidung. In den genannten Arbeiten[1, 2]) haben wir die Wirksamkeit eines Diphtherie-Alaun-Impfstoffes statistisch ausgewertet. Der jeweils beobachtete Anteil an geschützten Tieren ist vom Zufall beeinflußt, der wahre Anteil liegt mit einer Sicherheit von etwa 2:1 innerhalb des angegebenen einfachen Mutungsbereiches [P.[5])].

Gegen 1,8 mg (= 12 dl_{100}) Diphtherietrockentoxin T 172 pro 250 g Körpergewicht wurden am 16. Juni 1936 durch den zu prüfenden Impfstoff geschützt:

Dosis und Verdünnung		Zahl der geschützten Meerschweinchen		Einfacher Mutungsbereich
2 ccm 1/5	= 0,4 ccm	24/24	= 100,0 %	96,0 ... 100,0
2 „ 1/10	= 0,2 „	24/25	= 96,0 %	90,0 ... 98,5
2 „ 1/20	= 0,1 „	23/24	= 95,8 %	89,6 ... 98,4
2 „ 1/50	= 0,04 „	12/25	= 48,0 %	38,3 ... 57,9
2 „ 1/100	= 0,02 „	3/24	= 12,5 %	7,2 ... 20,8
2 „ 1/200	= 0,01 „	0/23	= 0,0 %	0,0 ... 4,2
2 „ 1/500	= 0,004 „	0/24	= 0,0 %	0,0 ... 4,0

Eine Gerade läßt sich ganz eindeutig graphisch so legen, daß sie alle Mutungsstrecken schneidet oder ganz knapp an ihnen vorbeiführt. Eine nach unten offene Kurve, die nicht zur Wahl steht, würde sich noch besser anpassen lassen. Dagegen kann man eine nach oben offene glatte Kurve, wie sie die treffertheoretische Deutung verlangt, offensichtlich nicht durch die sieben Mutungsstrecken legen. Das Beispiel spricht also gegen die Treffertheorie, wenn es als Einzelfall selbstverständlich auch nicht beweisend ist.

Viel schwerwiegender dürfte der Nachweis sein, daß die bei einem Inzuchtstamm gefundene Verteilungskurve [P.[6])] so schmal ist, daß sie mit der Vorstellung von weniger als vier Treffern nicht vereinbar ist [v. Sch.[7])]. Da zufällige Schwankungen überwiegend die Tendenz haben, eine beobachtete Glockenkurve zu verbreitern, scheint die Annahme widerlegt zu sein, daß ganz wenige „Treffer" die Antigenwirkung der Diphtherieimpfstoffe erklären können. Dieser Nachweis ist an den Verteilungskurven selbst, nicht an ihren Summenkurven geführt worden, weil P. Jordan in seiner Theorie die Glockenkurven betrachtet hat und zudem die Basisbreite der Glocken eine recht anschauliche Größe ist. Aus den eingangs nur beispielhaft erwähnten Arbeiten[1, 2]) dürfte aber zur Genüge hervorgehen, daß uns die Vorzüge der Wirkungskurven trotzdem seit langer Zeit bewußt sind.

Frankfurt a. M., Staatliches Institut für Experimentelle Therapie, den 31. August 1942.

R. Prigge. H. v. Schelling.

---

[1]) R. Prigge, Experimentelle Untersuchungen über die Wirksamkeit von Diphtherieimpfstoffen. III. Mitteilung. Dtsch. med. Wschr. 1937, 1478.

[2]) H. v. Schelling, Prinzipien der Wertbemessung von biologisch wirksamen Substanzen. Dtsch. med. Wschr. 1938, 827.

[3]) P. Jordan, Über die Spezifität von Antikörpern, Fermenten, Viren, Genen. Naturwiss. 29, 89 (1941).

[4]) K. G. Zimmer, Zur treffertheoretischen Analyse der Antigenwirkung. Naturwiss. 30, 452 (1942).

[5]) R. Prigge, Fehlerrechnung bei biologischen Messungen. Naturwiss. 25, 169 (1937).

[6]) R. Prigge, Theorie und Methodik der Antigenmessung. Z. Hyg. 119, 186 (1937).

[7]) H. v. Schelling, Trefferwahrscheinlichkeit und Variabilität. Naturwiss. 30, 306 (1942).

Dichroismus der harten Zahngewebe.

Menschliche Zähne, die zwecks lokaler Kariesbehandlung (Hemmung der Dentinkaries) mit Silbernitrat geätzt worden waren, gaben mir vor einiger Zeit Veranlassung, das so imprägnierte *Dentin* an Hand von Dünnschliffen auf seinen Feinbau und auf seine etwaigen dichroitischen Eigenschaften polarisationsmikroskopisch zu prüfen[1]). Dabei ergab sich u. a., daß an radialen Längs- schliffen am Zahnbein ein Dichroismus Dunkelbraun-Hellbraun bzw. Gelbrot-Blaugrau auftritt. Die stärkere Absorption erfolgte quer zu den Dentinkanälchen, also annähernd parallel den kollagenen Fasern.

Später konnte ich auch am fertigen *Schmelz* dichroitische Färbbarkeit feststellen[2]).

Um weitere Präparate in dieser Richtung zu gewinnen, behandelte ich auch extrahierte Zähne und Dünnschliffe mit Silbernitrat. Am normalen Schmelz, der freilich nur in geringer Tiefe durchfärbt wird, ließ sich ein deutlicher Dichroismus Hellbraun-Dunkelbraun bestätigen. Die stärkere Absorption erfolgt etwa in Richtung der Schmelzprismen. Ferner ergab sich der neue Befund, daß auch das *Zahnzement* besonders auffälligen Dichroismus annimmt. Es zeigte sich der Farbenwandel Gelbrot-Blauveil bzw. Gelbrot-Blaugrün noch ausgeprägter als beim Zahnbein. Dieser stär-

kere Dichroismus war sowohl im Bereich des zellfreien wie des zellhaltigen Zements zu finden.

Weitere Imprägnationsversuche wurden mit Goldchlorid an Schliffen durchgeführt, wobei ebenfalls starke dichroitische Färbung Rot-Blaugrün im Zement auftrat.

Damit ist an allen drei Hartsubstanzen der fertig ausgebildeten Zähne dichroitische Färbbarkeit nachgewiesen. Eine Ausarbeitung der Befunde in Hinsicht auf den Anteil der organischen bzw. anorganischen Grundsubstanz der Zahngewebe an den dichroitischen Erscheinungen folgt später.

Berlin, Institut für Kariesforschung, den 1. September 1942. A. KEIL.

[1]) A. KEIL, Über Silberdichroismus des Dentins und seine praktische Bedeutung. Z. Mikrosk. **56**, 359—361 (1939).

[2]) Anmerkung zu einem Eigenreferat. Zbl. Zahnheilk. **5**, H. 3/4, 245, 1940.

Beobachtungen an schmelzenden W-Einkristalldrähten.

An den Enden eingespannte W-Einkristall-*Pintsch*drähte, die bis zum Durchbrennen erhitzt worden sind (infolge der thermischen Ausdehnung stehen sie unter einem Längsdruck), erscheinen an mehreren Stellen geknickt. Es gelingt nicht, die Knicke durch vorsichtiges Erwärmen unter Vermeiden des Durchbrennens herzustellen. Das vergrößerte Bild des Drahtes zeigt viele Gleitungen, wobei die Gleitumrißstellen verdickt erscheinen (vergleiche die Abbildung eines 0,1 mm dicken W-Drahtes in Fig. 1.) Die Knickstellen erweisen sich als verbogene Gleitstellen. Als Gleitfläche ergab sich röntgenographisch die für das W-Gitter (kubisch raumzentriert) charakteristische Gleitfläche 011.

Fig. 1. Gleitumrißstelle eines bis zum Durchbrennen erhitzten W-Einkristalldrahtes.

Die Beobachtung ist durchaus in Analogie zu den Beobachtungen von VOLMER und SCHMIDT[1]) zu deuten. Es ist nämlich nicht anzunehmen, daß die beschädigten Gitterbereiche, die sich primär auf wenige Netzebenen beschränken, infolge des größeren Widerstandes eine erhöhte Lokaltemperatur erreichen. Das Schmelzen beginnt vielmehr auch im Kristallinneren, ähnlich wie an der Kristalloberfläche, am ehesten an beschädigten Gitterbereichen. Im vorliegenden Fall liegen diese Bereiche, da sie durch Gleitung hervorgerufen wurden, in 011-Netzebenen, und längs solcher Netzebenen pflanzt sich also der Schmelzvorgang zunächst fort. Da der Draht unter Längsdruck steht, wird dann die Schmelze seitlich herausgepreßt. Hierdurch und vielleicht auch durch Oberflächenwanderung erfolgt eine Querschnittszunahme des Drahtes und infolgedessen eine Temperaturerniedrigung an dieser Stelle. Die Schmelze erstarrt deshalb von neuem, und der Draht ist weiterhin gerade an dieser Stelle vor dem Durchschmelzen gesichert.

Solche Beobachtungen konnten an gezogenen *Osram*drähten nicht gemacht werden, die erst während der Erhitzung rekristallisieren und daher kaum gestörte Gleitflächen enthalten werden.

Wir sprechen auch an dieser Stelle Herrn Dr. EXNER für die Ausführung der röntgenographischen Bestimmungen, der *Pintsch-K.G.* und der *Osram-Ges.* für freundliche Überlassung von W-Drähten unseren Dank aus. Der eine von uns (STRANSKI) ist der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* für gewährte Unterstützung zu Dank verpflichtet.

Breslau, Physikalisch-chemisches Institut der Technischen Hochschule und der Universität, den 10. September 1942. I. N. STRANSKI. R. SUHRMANN.

[1]) Nach Beobachtungen von M. VOLMER und O. SCHMIDT, Z. physik. Chem. (B) **35**, 467 (1937), setzt das Schmelzen eines sorgfältigst gereinigten und gezüchteten Ga-Einkristalls an Gitterstörstellen ein, während die gut ausgebildeten Flächenpartien bei einer meßbar höheren Temperatur noch ungeschmolzen verbleiben. Vgl. auch I. N. STRANSKI, Z. Physik **119**, 22 (1942) — Naturwiss. **30**, 429 (1942).

Dipolschwarmbildung und dielektrische Polarisation.

Für eine große Gruppe von Lösungen polarer Stoffe in unpolaren Lösungsmitteln wird die Konzentrationsabhängigkeit der Orientierungspolarisation durch die von VAN ARKEL und SNOEK [Physik. Z. **33**, 662 (1932)] empirisch gefundene Beziehung

$$P_{or} = \frac{4\pi}{3} N_L \frac{\mu^2}{3kT + c n \mu^2} \qquad (1)$$

wiedergegeben. Dabei bedeuten: N_L LOSCHMIDTsche Zahl, μ Dipolmoment, n Anzahl Dipolmoleküle pro Kubikzentimeter und c eine Konstante, die für alle Stoffe der Gruppe in der Nähe von $4\pi/3$ liegt. Eine theoretische Ableitung der Beziehung (1) war bisher trotz verschiedener Versuche nicht geglückt.

Wie in einer demnächst in der Z. physik. Chem. (B) erscheinenden Veröffentlichung näher dargestellt wird, ist es mit Hilfe der Theorie der Dipolschwarmbildung [H. HARTMANN, Z. Elektrochem. **47**, 856 (1941) und Z. physik. Chem. (B) **51**, 309 (1942)] gelungen, für P_{or} in erster Näherung die Beziehung

$$P_{or} = \frac{4\pi}{3} \frac{N_L \mu^2}{3kT} \frac{1 - 4\pi \frac{n\mu^2}{3kT}}{1 - \frac{8\pi}{3} \frac{n\mu^2}{3kT} \left(1 - 4\pi \frac{n\mu^2}{3kT}\right)} \qquad (2)$$

abzuleiten. Die Entwicklungen von (1) und (2) nach Potenzen von $4\pi n\mu^2/9kT$ stimmen im ersten und zweiten Glied überein, wenn $c = 4\pi/3$ ist:

$$P_{or} = \frac{4\pi}{3} \frac{N_L \mu^2}{3kT} \left\{1 - \frac{4\pi}{3} \frac{n\mu^2}{3kT} + \cdots\right\}.$$

(2) stellt also das richtige „Grenzgesetz" für die Abhängigkeit der Orientierungspolarisation von der Konzentration dar.

Höhere Näherungen ergeben Verbesserungen des Resultates (2) in Richtung auf die Beziehung (1). Das Resultat (2) wurde ohne Benutzung der CLAUSIUS-MOSOTTIschen Annahme über das innere Feld erhalten.

Frankfurt a. M., Institut für Physikalische Chemie, den 12. September 1942. H. HARTMANN.

Zur Frage nach der Wirksamkeit potenzierter Lösungen.

Anläßlich der durch die Ergebnisse von HEINTZ[1]) entstandenen Debatte[2, 3, 3a]) über die Wirksamkeit potenzierter Lösungen sei hier auf frühere Versuche des Verfassers[4, 5]), auf unveröffentlichte Ergänzungen hierzu sowie auf andere einschlägige Untersuchungen hingewiesen, die infolge Verstreutheit des Schrifttums in dem jetzigen Meinungsstreit noch nicht berücksichtigt wurden[6]), aber Fingerzeige liefern und neue Versuche zum Teil ersparen können.

Das „klassische" oligodynamische Problem — von HEINTZ auf S. 720 sowie durch die Arbeit von LÖHNER und MARKOWITS zitiert —, d. h. die mikroorganismentötende Wirkung stark verdünnter Schwermetallösungen (vor allem Ag und Cu), von durch metallisches Ag oder Cu „aktiviertem" Wasser sowie von Gläsern, die einige Zeit mit solchen Lösungen oder mit Wasser, in das metallisches Ag oder Cu tauchte, in Berührung waren, hat einerseits zur Frage nach der Wirkung potenzierter Lösungen nur sekundäre Beziehungen und kann andererseits durch die Ergebnisse des Verfassers (1927)[4]) sowie die von FREUNDLICH und SÖLLNER (1928)[7]) als grundsätzlich gelöst gelten. Verfasser konnte zeigen: Ag^+-Lösungen wirken auf Infusorien bis 10^{-7} mol/l tödlich, in (für die Tiere) hypotonischem Medium bis 10^{-9}, also in weit stärkerer Verdünnung als jener, in der metallisches Ag auch in „reinstem" destillierten Wasser in Lösung geht[8]); Glas adsorbiert und nimmt vermöge seiner Permutitstruktur aus Ag^+-haltigem Medium Ag^+ in sich auf und gibt es bei längerer Berührung mit Ag-freiem Medium wieder an dieses ab („sekundär aktiviertes Wasser", Ag-Gehalt $\geqq 10^{-7}$), vor allem aber entsteht an der Grenzfläche Wasser/Glas eine Ag^+-Konzentration $\geqq 10^{-4}$, die sie berührende Infusorien

binnen weniger Minuten tötet. FREUNDLICH und SÖLLNER zeigten darüber hinaus, daß die Mikroorganismen (hier Algen) dem Ag-haltigen Wasser bis 79% des Ag entziehen und in sich speichern, so daß an der stofflichen Wirkung des Ag kaum mehr zu zweifeln ist. Das Sonderproblem einer möglichen „Fernwirkung" der Metalle[9]) ist hier ohne Interesse.

Jenseits von 10^{-9} mol/l erhielt Verfasser., wobei die Teilungsrate der Infusorien als Test benutzt wurde, in Versuchen mit verschiedenen Salzen, vor allem $AgNO_3$, für Bereiche bis zum Teil[10]) D_{10} 49 keine Wirkung mehr, von einer evtl. Stimulation durch die erste untertödliche Potenz abgesehen. Von den sonstigen Versuchen mit potenzierten Lösungen scheiden aus fehlertheoretischen Gründen zunächst diejenigen von KOLISKO[11]) aus, wie vom Verfasser sowie von FENNER[12]) gezeigt wurde. Für JUNKER gilt zum Teil Gleiches (unveröffentlicht). Bezüglich seiner und der Ergebnisse KRAWKOWS vgl. man LUDWIG sowie ECKERT und FEILER (1931, S. 99)[13]). KÖNIG stellte nur einen Versuch an. Die Ergebnisse PERSSONS (Beschleunigung bzw. Verzögerung des Abbaues löslicher Stärke durch $HgCl_2$ bis 10^{-110}) konnten nicht bestätigt werden[14]). Versuche von AHLGREN[15]) an potenzierten Lösungen von Insulin, Adrenalin, Thyroxin und Hypophysenextrakten führten zu Wirkungsgrenzen zwischen 10^{-17} und 10^{-19}, wobei sich die Beeinflussung der studierten Oxydationen mit steigender Verdünnung ganz allmählich auf o reduzierte (Kontrollwert). Auch die Versuche von ROMEIS und WÜST[16]) (Umsatzsteigerung bei Insektenpuppen nach Thyroxininjektion) lieferten nach Beseitigung der anfänglichen Fehlerquellen für die Annahme einer Wirkung potenzierter Substanzen keine Handhabe mehr. Die einzigen sicheren Resultate, die für die Wirkung einer ± isolierten hohen Verdünnung sprechen, erhielt FEILER[13]): salzsaures Chinin stimuliert bei etwa $10^{-8,5}$ die Vermehrung von Infusorien (ein möglicherweise durch Stimulation der Futterbakterien vorgetäuschter Effekt), dann folgt ein indifferenter Zwischenbereich, hierauf *in der Umgebung von 10^{-18} ein zweiter stimulierender Bereich*, jenseits 10^{-19} völlige Indifferenz. Dieser 10^{-18}-Effekt fehlt im Dunkeln und ist von der Herstellungsweise der Lösung unabhängig.

Auf Grund der eigenen Ergebnisse wurde vom Verfasser erwogen, ob infolge des Potenzierens die Eigenschaften des Lösungsmittels (Wasser) geändert werden, z. B. sein Polymerisationsgrad, zumal dieser von Einfluß sein kann und z. B. trihydrolfreies Wasser auf Algen schädlich wirkt[17]). Zunächst ergab sich, daß auf Basis[10]) 2, 5, 10, 10^2 oder 10^3 hergestellte Lösungen von $AgNO_3$ jenseits 10^{-9} keine Wirkungen mehr ausüben. Spätere Versuche (1930, unveröffentlicht) zeigten, daß die für jede Ag-Verdünnung bis 10^{-9} charakteristischen Wirkungen (Absterbeerscheinungen der Infusorien) bei Verwendung von Lösungen, die auf Basis 2, 5 oder 10 hergestellt wurden, die *gleichen* waren. (Hierbei entspricht z. B. 10^{-8} der 26. Potenz auf Basis 2.) Auch FEILER erhielt ihr 10^{-18}-Chininmaximum, gleichgültig ob die Lösungen auf Basis 10, 100, 1000 oder zum Teil auf Basis 5 potenziert wurden. Leerversuche (d. h. Potenzierung des Lösungsmittels in Lösungsmittel) verschiedener Autoren fielen sämtlich negativ aus.

Auf biologischer Basis konnten also bisher weder Wirkungen von Konzentrationen jenseits 10^{-22} mol/l nachgewiesen werden, noch ergaben sich Anhaltspunkte, daß durch das Potenzieren dem Lösungsmittel bzw. der Lösung Eigenschaften „aufgeprägt" würden. Eine gewisse Substanzverschleppung muß stets in Rechnung gezogen werden.

Zur Zeit Gießen (Luftwaffe), sonst Halle a. S., Zoolog. Institut der Universität, den 27. August 1942.

WILHELM LUDWIG.

[1]) Naturwiss. 29, 713 (1941).
[2]) H. DRUCKREY u. R. RICHTER, Naturwiss. 30, 178 (1942).
[3]) K. WINTERSBERGER, Naturwiss. 30, 330 (1942).
[3a]) K. F. LUFT, Naturwiss. 30, 505 (1942).
[4]) Z. vergl. Physiol. 6, 623 (1927).
[5]) X. Congrès intern. de Zool. 1927, 583 (1929).
[6]) Nur [4]) wurde in [1]) in einer Fußnote bei einer technischen Frage kurz gestreift.
[7]) Biochem. Z. 203, 3 (1928).
[8]) K. v. NEERGARD, Arch. f. exper. Path 109 (1925). — H. SIEBENEICHER, Kolloid-Z. 59 (1932). — R. WERNICKE u. F. MODERN. Biochem. Z. 214 (1929). — EGG, zit. bei SIEBENEICHER; ferner [7]).
[9]) Vgl. V. RIVERA, Atti Accad. naz. Lincei, VI. s. 19, 432 (1934) — Radiobiol. generalis (Venezia) 4, Nr 4, 105 (1936) u. a. — Ferner J. SZOLNIKI, Naturwiss. 22, 300 (1934).
[10]) Eine Konzentration, die aus einer Stammlösung D_0 durch x-maliges Verdünnen im Verhältnis $1:(k-1)$, d. h. durch „Potenzieren auf Basis k" gewonnen wurde, nennen wir $D_k x$.
[11]) Diese und die späteren hier nicht zitierten Autoren finden sich im Schrifttumsverzeichnis von [1]).
[12]) Zellstimulationsforsch. 1929. — Biol. Heilkunst 10 (1929).
[13]) M. FEILER, Arch. Protistenkde 59, 562 (1927); 67, 157 (1929) — Zool. Anz. 80, 323 (1929) — Zbl. Bakter. II. Abt. 83, 63 (1931). — F. ECKERT u. M. FEILER, Z. vergl. Physiol. 14, 93 (1931).
[14]) TH. SABALITSCHKA u. R. CRZELLITZER, Mikrochemie 25, 225 (1938), zit. nach Ber. wiss. Biol. 50, 617. — PERSSON, zit. ebenda.
[15]) Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) 47 Suppl. (1925).
[16]) Roux' Arch. 118 (1929); 125 (1932).
[17]) T. C. BARNES, Proc. nat. Acad. Sci. USA. 18 (1932). — LLOYD u. BARNES, ebenda.

Anmerkung der Redaktion.

Die Veröffentlichung der Arbeit von E. HEINTZ über die physikalische Wirksamkeit potenzierter Substanzen hat die von der Redaktion beabsichtigte Wirkung gehabt, eine Reihe von Nachprüfungen zu veranlassen (Naturwiss. 1942, S. 178: H. DRUCKREY und R. RICHTER, S. 330: K. WINTERSBERGER, S. 505: K. F. LUFT, S. 603: O. REINKOBER). Sie hatten sämtlich ein negatives Ergebnis. Nachdem nun auch E. HEINTZ selbst bei einer Wiederholung seiner Versuche zusammen mit D. BEISCHER und R. FLEISCHMANN die seinerzeit gefundenen Effekte nicht reproduzieren konnte (s. das vorige Heft S. 642), darf die Frage als endgültig in negativem Sinne entschieden gelten. Es möge daher die Diskussion mit der vorstehenden Mitteilung von W. LUDWIG, durch die sie in biologischer Richtung ergänzt wird, nunmehr abgeschlossen werden.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Herr G. NEUMANN, Hamburg, sprach am 24. März 1941 über **Die Eigenschwingungen der Ostsee.** Die Bewegung der Wassermasse bei Eigenschwingungen (Seiches) entspricht der einer stehenden Welle. Neben einer einknotigen oder Grundschwingung — mit einer Knotenlinie in der Mitte des Schwingungsbeckens — können auch mehrknotige Schwingungen (Oberschwingungen) auftreten. Die stärksten Schwingungen sind an den Enden des Beckens zu erwarten.

Solche Schwingungen sind nun auch für die Ostsee anzunehmen. Da die Periode der Eigenschwingungen durch die Dimensionen des Wasserbeckens bestimmt wird, kommen nur lange Perioden in Frage, die sich über viele Stunden, ja über Tage erstrecken; sie sind nur in wenigen Fällen rein und ungestört ausgebildet, im allgemeinen jedoch sehr kompliziert und daher bisher wenig bekannt.

Um die Eigenschwingungen einer abgeschlossenen Wassermasse festzustellen, darf man sich nicht auf Beobachtungen eines Ortes beschränken; vielmehr müssen möglichst viele Beobachtungsstellen verglichen werden. Dieser Forderung entsprechend stützen sich die Untersuchungen des Vortr. auf die Wasserstandsbeobachtungen an der deutschen, däni-

schen, schwedischen, finnischen, estnischen und lettischen Ostseeküste. Es ist dadurch gelungen, erstmalig eine ganze Reihe von Schwingungen festzustellen, die mit Sicherheit als reine Seiches zu deuten sind.

Als Ursache der Ostsee-Seiches konnten Luftdruckschwankungen und Windeinflüsse nachgewiesen werden. Bei der großen Länge des Beckens von 1500 km mit nur 55 m Tiefe bietet die Ostsee den Winden eine sehr günstige Angriffsfläche dar. Länger andauernder Wind einer bestimmten Richtung kann zu beträchtlichem Anstau des Wassers an der Leeseite des Beckens führen; es entsteht dann ein Gleichgewichtszustand mit schiefer Meeresoberfläche. Tritt nun, z. B. durch plötzliche Änderung der Windrichtung oder Abflauen des Windes, eine Störung dieses Gleichgewichts ein, so erfolgt ein Ausgleich des Niveauunterschiedes in Form von Schwankungen der Wassermasse.

Luftdruckänderungen können nicht nur verstärkend wirken, sondern auch *allein* sehr starke Eigenschwingungen der Ostsee hervorrufen; insbesondere können auch durch eine Reihe schwacher Impulse die Amplituden immer weiter aufgeschaukelt werden, so daß sich schließlich große Schwankungen ergeben.

Zum Schluß wurde noch der Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation behandelt. Diese Kraft wirkt quer zur Bewegung der Wassermasse, also senkrecht zum Talweg, und ruft erzwungene Querschwingungen hervor. Die Überlagerung der Längs- und Querschwingungen erzeugt Drehbewegungen (Amphidromien), wodurch zwischen den einzelnen Stationen kleine Phasenverschiebungen entstehen. Die Beträge sind aber infolge der geringen Breite nicht groß, so daß wir praktisch die Eigenschwingungen der Ostsee als lineare stehende Wellen ansehen können.

Die Ausführungen des Vortr. wurden durch zahlreiche sicher beobachtete Beispiele mit graphischen Darstellungen eindrucksvoll belegt.

Der Büßerschnee in den Hochgebirgen der Erde war das Thema eines Vortrages, den Herr C. Troll, Bonn, am 9. Juni 1941 hielt. Das Thema ist schon oft behandelt worden, aber dennoch nicht erschöpft. Drei Fragestellungen sind möglich: 1. die physikalischen Vorgänge bei der Entstehung, 2. die klimatischen Bedingungen und 3. die geographische Verbreitung. Zu 1. gibt es schon sehr viele Untersuchungen, durch die die Vorgänge der Entstehung im großen ganzen geklärt sind. Der Vortr. sprach deshalb hauptsächlich zu 2. und 3. und betrachtete den Büßerschnee als *klimatisches Problem*.

Nach einem kurzen Überblick über die Geschichte der Erforschung bemühte sich der Vortr. um die begriffliche Klärung des Problems, insbesondere die Abgrenzung gegen verwandte Bildungen. Er betonte, daß nicht alle rhythmischen Ablationsformen von Schnee als Büßerschnee zu bezeichnen sind. Nicht in Frage kommen z. B. Formen, die durch ungleichmäßige Ablation infolge verschiedenartiger Schuttbedeckung entstanden sind; echter Büßerschnee bildet sich aus einer reinen, nicht mit Schutt bedeckten Schneefläche. Das Ausgangsmaterial ist Winterschnee; der Ausdruck „Zackenfirn" wird deshalb als mißverständlich abgelehnt. Die Anordnung der Figuren in Reihen ist viel diskutiert worden. In Wahrheit handelt es sich um eine wechselständige Anordnung, wobei allerdings die Figuren sämtlich parallel zueinander stehen — die Richtung ist ja astronomisch bedingt. Die Frage, ob eine ungleichmäßige Oberfläche des Schnees notwendig ist, wird vom Vortr. verneint. Experimente haben vielmehr gezeigt, daß man aus einer ganz glatten Schneefläche Büßerformen erzeugen kann. Leider ist die Entwicklungsreihe der Formen in der Natur noch nie vom Anfangsstadium bis zum Verfall fortlaufend beobachtet worden; es wäre erwünscht, wenn dies voneinem Standlager aus einmal durchgeführt werden könnte.

Der Vortr. ging dann zur Untersuchung der klimatischen und Wettergrundlagen über. Vorbedingung ist eine mächtige winterliche Schneedecke, die lange liegenbleiben und allmählich aufgezehrt werden muß. D. h. auf einen schneereichen Winter muß trockenes Sommerwetter mit möglichst voller Ein- und Ausstrahlung folgen; außerdem gehören besondere Strahlungsintensitäten dazu, vor allem Strahlungssummen für die sommerliche Jahreszeit. Die Lufttemperatur im Schatten muß wahrscheinlich unter 0° liegen. Der Büßerschnee ist ja eine *Verdunstungs*erscheinung, das Schmelzen ist für ihn der Tod.

Die genannten Vorbedingungen sind in den subtropischen Breiten am günstigsten ausgebildet, sofern die erforderliche Höhenlage (normal etwa 3000—5000 m) gegeben ist. In dem bekanntesten Beispiel, den argentinischen Hochgebirgen, ist dies alles in idealer Weise vereint.

Nunmehr wurde im einzelnen die geographische Verbreitung der Büßerschneevorkommen erörtert. In den Tropen gibt es keinen thermischen Sommer und Winter, dagegen ist der Unterschied zwischen Tag und Nacht sehr groß. Infolgedessen bleibt der Schnee, der in großen Höhen gelegentlich fällt, nicht lange liegen. Örtlich ist natürlich auch in diesen Breiten die vorübergehende Bildung von Büßerschnee möglich und ist auch beobachtet worden.

Die subtropischen Gebirge müssen nach der Theorie gute Vorkommen von Büßerschnee aufweisen. Die Hauptkette des Himalaya fällt allerdings weg, da im Sommer durch den Monsum sehr viel Feuchtigkeit herangeführt wird; ebenso der Kaukasus. Dagegen zeigt der Hindukusch und in etwas geringerem Maße der Karakorum vorzügliche und ausgedehnte Vorkommen. Unklar ist noch das Pamirgebiet. In den hinteren, Tibet zugewandten Tälern des Himalaya, wo sich die Feuchtigkeitszufuhr schon erschöpft hat, sind die Bedingungen günstiger als auf der Monsunseite; vom Garwhal-Himalaya werden z. B. schöne Vorkommen berichtet. In Nordamerika ist die Bildung von Büßerschnee in Kalifornien möglich: vielleicht in den höheren Lagen des Kaskaden-Gebirges, idealer in der südlich anschließenden Sierra Nevada. Dieses Gebirge bietet ähnliche Bedingungen wie Argentinien, dessen Hochgebirge schon im Zuge der theoretischen Erörterungen als günstigstes Gebiet hervorgehoben wurde. Nebenbei mag noch eine Beobachtung der „Meteor"-Expedition am Pic von Teneriffa erwähnt werden.

Alle aus anderen als den genannten Zonen beschriebenen Vorkommen sind keine echten, sondern nur büßerschnee*ähnliche* Bildungen von episodischem Charakter — so in den randlichen Tropen im Norden und Süden, ferner in den im Sommer feuchten subtropischen Gebirgen sowie in nördlicheren Breiten.

Zum Schluß wies der Vortr. mit Nachdruck und gleichsam zur nachträglichen methodischen Grundlegung seiner Untersuchungen auf die Bedeutung der vergleichenden Erdkunde hin, die eine aus der Geographie nicht wegzudenkende Forschungsmethode darstellt.

Kurt Kaehne.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Fritz Süffert, Berlin W 9,
Springer-Verlag in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.